



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**NÍVEIS DE ZINCO EM DIETAS PARA CODORNAS JAPONESAS NA FASE
INICIAL EM DOIS AMBIENTES TÉRMICOS**

THIAGO DE ASSIS MORAES
Zootecnista

AREIA-PARAÍBA
MARÇO DE 2018

NÍVEIS DE ZINCO EM DIETAS PARA CODORNAS JAPONESAS NA FASE INICIAL EM DOIS AMBIENTES TÉRMICOS

Autor: Thiago de Assis Moraes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia.

Comitê de orientação:

Prof. Dr. Edilson Paes Saraiva

Prof. Dr. Ricardo Romão Guerra

Prof. Dr. Fernando Guilherme Perazzo Costa

AREIA-PARAÍBA
MARÇO DE 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M827n Moraes, Thiago de Assis.

NÍVEIS DE ZINCO EM DIETAS PARA CODORNAS JAPONESAS NA
FASE INICIAL EM DOIS AMBIENTES TÉRMICOS / Thiago de
Assis Moraes. - Areia-PB, 2018.
58 f. : il.

Orientação: Edilson Saraiva.
Coorientação: Ricardo Guerra.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/Campus II.

1. Coturnix coturnix japonica. 2. Estresse por
calor.
I. Saraiva, Edilson. II. Guerra, Ricardo. III.
Título.

UFPB/CCA-AREIA



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

TÍTULO: “Níveis de zinco em dietas para codornas japonesas na fase inicial em dois ambientes térmicos”

AUTOR: Thiago de Assis Moraes

ORIENTADOR: Edilson Paes Saraiva

JULGAMENTO

CONCEITO: APROVADO

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Edilson Paes Saraiva
Presidente
Universidade Federal da Paraíba

Profª. Dra. Patrícia Emilia Naves Givisiez
Examinadora
UFPB

Profª. Dra. Roberta Gomes Marçal Vieira Vaz
Examinadora
UFT

Areia, 12 de março de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

THIAGO DE ASSIS MORAES, filho de Roselene de Assis Moraes e Luciano Oliveira de Moraes, nascido no dia 14 de agosto de 1986 na cidade de João Pessoa, Paraíba. Ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II – Areia/Paraíba no ano de 2011, onde se formou e obteve o título de Zootecnista em janeiro de 2016. No mesmo ano ingressou no mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da mesma instituição, sob orientação do Prof. Dr. Edilson Paes Saraiva.

Aos meus pais Roselene e Luciano, com todo amor e gratidão!

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, pelo dom da vida e por todas as graças concedidas durante a minha trajetória, me dando força, saúde, conforto, paciência, sabedoria e fé em todas as horas.

Aos meus pais, Roselene e Luciano, pelos valores repassados, os quais serão levados para o resto da vida, por todo amor, carinho, conselhos e apoio incondicional durante toda essa caminhada. Agradeço também aos meus amados irmãos Lucas e Emilly, pelo carinho companheirismo em todos os momentos.

Aos meus avós, em especial a minha avó materna Maritília (*in memorian*), a qual sempre deu incentivo e apoio à educação de toda família, tenho certeza que durante esta minha trajetória esteve abençoando e que agora está extremamente orgulhosa, a minha avó paterna Terezinha por ter feito papel de mãe durante grande parte de minha vida, com todo amor e dedicação. Aqui me reporto aos meus tios e tias pelo apoio, incentivo e aconselhamentos.

A minha namorada Angelica Almeida, pelo companheirismo, carinho, por toda compreensão e amor em todos os momentos. Aos seus pais Adão e Nicelina, pessoas que tenho imenso carinho, admiração e gratidão por tudo que fizeram por mim até aqui.

Ao Prof. Edílson Paes Saraiva, por toda orientação, paciência, dedicação, comprometimento, confiança, além de todos os conselhos, amizade e ensinamentos, os quais serão levados para vida.

Ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, por proporcionar excelente formação acadêmica aos discentes que tem o privilégio de integra-lo.

Aos professores Fernando Guilherme Perazzo Costa e Ricardo Romão Guerra, membros do meu comitê de orientação, pela disponibilidade e colaboração.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

A minha grande amiga Graça Medeiros, a quem tenho muito respeito admiração e amor.

Ao grupo de estudos e pesquisa em Bioclimatologia, Etologia, e Bem-Estar Animal – BIOET, pela excelente contribuição na execução deste projeto, agradeço a Raniere, Danrley, Larissa, Mikael, Guilherme, Elivânia, Sérgio e Isa.

Aos amigos e colegas da turma de mestrado, alguns desde a graduação, pelo companheirismo e carinho.

Aos meus amigos e irmãos que escolhi: Natália, que mesmo longe sempre me apoia, incentiva e transmite boas energias, Wendel, Luciano, Larissa, Kyara, Vanderléia, pessoas que tenho carinho imenso que sempre estarão guardados em meu coração.

Aos amigos que fiz durante o mestrado, Diego, Danilo, Aldevan, Rafael, pela amizade e companheirismo.

Aos meus vizinhos e amigos sul matogrossenses Aianne e Renato Tonhá, pela amizade e companheirismo.

A Guilherme Souza Lima, pela sua grande contribuição, sempre auxiliando sem medir esforços.

Aos orientandos e estagiários do Prof. Ricardo Romão Guerra no laboratório de histologia, pela ajuda e contribuição nas análises, em especial ao técnico Edjanio, por toda dedicação e empenho.

Ao Prof. Danilo Teixeira Cavalcante, na época Pós Doutorando do PPGZ, o qual foi peça fundamental para realização do projeto, com sugestões, ensinamentos e apoio em todas as etapas.

Aos funcionários terceirizados do Setor de Avicultura e Bovinocultura da Universidade Federal da Paraíba, Seu Ramalho, Josa, Leandro e Davi, pela grande contribuição.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO GERAL.....	12
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Efeito do estresse térmico sobre as aves	17
2.2. Efeito sobre o desempenho e características de carcaça	18
2.3. Efeito sobre o sistema imune e órgãos.....	19
2.4. Funções do zinco no organismo do animal.....	21
2.5. Absorção e metabolismo do zinco	21
2.6. Efeito do zinco sobre o sistema imune e órgãos	23
2.7. Efeitos do Zinco sobre a saúde óssea.....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Local, aves, dietas e tratamentos	26
3.2. Variáveis Analisadas	30
3.2.1. Desempenho Zootécnico	30
3.2.2. Peso de órgãos e carcaça	30
3.3.3. Resistência óssea da tíbia	30
3.3.4. Análise histológica	31
3.4. Análise estatística	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1. Variáveis de desempenho	32
4.2. Morfometria Intestinal.....	36
4.3. Características de Fígado.....	41
4.4. Peso de órgãos e carcaça	45
4.5. Resistência de tíbia.....	48
5. CONCLUSÃO	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição e conteúdo de nutrientes das dietas experimentais para codornas japonesas de 1 a 42 dias de idade.	28
Tabela 2- Temperatura utilizada nas câmaras climáticas para as duas condições ambientais de acordo com a idade das aves.	29
Tabela 3- Desempenho de codornas japonesas de 1 a 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.	33
Tabela 4- Desempenho de codornas japonesas de 1 a 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.	35
Tabela 5- Desdobramento da interação entre os níveis de zinco e diferentes ambientes sobre o ganho de peso de codornas de 1 a 42 dias.	36
Tabela 6- Morfometria duodenal de codornas japonesas aos 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.	38
Tabela 7- Desdobramento da interação entre os níveis de zinco e diferentes ambientes térmicos sobre a relação vilo:cripta de codornas japonesas aos 21 dias de idade.	39
Tabela 8- Morfometria duodenal de codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.	40
Tabela 9- Efeito do ambiente térmico sobre o escore de glicogênio hepático de codornas japonesas aos 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta.	42
Tabela 10- Peso de órgãos e carcaça de codornas japonesas aos 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.	45
Tabela 11- Peso de órgãos e carcaça de codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.	47
Tabela 12- Desdobramento da interação entre os níveis de zinco e diferentes ambientes sobre o peso do baço de codornas com 42 dias de idade.	48
Tabela 13- Resistência óssea da tíbia de codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema geral da sala de controle e câmaras climáticas: 1. Painel de controle; 2. Desumidificador; 3. Câmera; 4. Umidificador; 5. Exaustor (Pressão Negativa); 6. Aquecedor; 7. Termostato; 8. Ar condicionado; 9. Exaustor (Pressão Positiva). 27

Figura 2- Box equipado com bebedouro e comedouro utilizado do 1° ao 7° dia de idade (A); Box coberto com tela a partir do 5° dia experimental (B); Box equipado com bebedouro e comedouro utilizado do 8° ao 42° dia de idade (C). 29

Figura 3- Frequência do estoque de glicogênio hepático em codornas japonesas aos 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos. Legenda: * 1 (pouco estoque de glicogênio), 2 (moderado estoque de glicogênio) e 3 (abundante estoque de glicogênio). 41

Figura 4- Frequência do estoque de glicogênio hepático em codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta. Legenda: * 1 (pouco estoque de glicogênio), 2 (moderado estoque de glicogênio) e 3 (abundante estoque de glicogênio). 43

Figura 5- Frequência do estoque de esteatose hepática em codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta. Legenda: *0 (ausência de esteatose), 1 (pouca esteatose), 2 (esteatose moderada) e 3 (esteatose avançada). 44

RESUMO GERAL

MORAES, T. A. **Níveis de zinco em dietas para codornas japonesas na fase inicial em dois ambientes térmicos.** 2018. 58f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

Objetivou-se avaliar níveis de zinco (Zn) na dieta de codornas japonesas de 1 a 42 dias de idade mantidas em dois ambientes térmicos e seus efeitos sobre o desempenho zootécnico, morfologia duodenal, glicogênio hepático, esteatose hepática, peso de carcaça, peso de órgãos e resistência óssea da tíbia. Foram utilizadas 500 codornas fêmeas, sendo 250 em ambiente de conforto térmico e 250 em ambiente de estresse por calor, distribuídas em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (5 x 2), sendo cinco níveis de Zn (30, 60, 90, 120 e 150 mg/Zn por kg de ração). No período de 1 a 21 dias, o aumento dos níveis de Zn resultou em redução no consumo de ração (CR) e piora na conversão alimentar (CA), o estresse por calor na mesma fase diminuiu o CR e piorou a CA. Na fase de 1 a 42 dias houve interação apenas para GP, mostrando que o aumento dos níveis de Zn influenciaram negativamente o GP das aves criadas em estresse por calor, o CR e a CA apresentou piora no estresse por calor. Houve interação dos níveis de Zn e o ambiente sobre a relação vilo:cripta do duodeno das aves aos 21 dias de idade; o desdobramento mostrou efeito linear decrescente à medida que aumentava o nível de Zn no ambiente de conforto. Aos 42 dias de idade, o nível de 150 mg/Zn apresentou a melhor relação vilo:cripta duodenal, as aves mantidas em conforto térmico também apresentaram melhor relação vilo:cripta. O maior estoque de glicogênio hepático foi observado ao nível de 120 mg/Zn, e em ambiente de conforto térmico na fase de 21 dias de idade. Aos 42 dias apenas o nível de Zn foi significativo, apresentando o maior estoque de glicogênio também ao nível de 120 mg/Zn. Aos 42 dias foi observado efeito dos níveis de Zn para a esteatose hepática, o nível de 90 mg/Zn foi o mais positivo para a ausência de esteatose. Aos 21 dias, os pesos de fígado e carcaça foram influenciados negativamente pelo aumento dos níveis de Zn, o estresse por calor diminuiu os pesos de baço, bolsa cloacal, fígado e carcaça. Já para os 42 dias houve interação sobre o peso do baço, apresentando o maior peso no nível de 120 mg/Zn no ambiente de conforto térmico. O ambiente de estresse por calor reduziu os pesos de fígado e carcaça. A resistência óssea da tíbia aos 42 dias aumentou de forma linear com o aumento dos níveis de Zn e reduziu em estresse por calor. Com base na média das variáveis de desempenho encontrados nas

equações de regressão fatorial, recomenda-se a utilização de 60 mg de Zn/kg em dietas de codornas japonesas de 1 a 42 dias de idade em conforto térmico e estresse por calor.

Palavras-chave: *Coturnix coturnix japonica*, estresse por calor, suplementação.

ABSTRACT

MORAES, T. A. **Zinc levels in diets for Japanese quails in the initial phase in two thermal environments.** 2018 58f. Dissertation (Master in Animal Science) - Federal University of Paraíba, Areia, 2018.

The objective of this study was to evaluate zinc levels (Zn) in the diet of Japanese quail from 1 to 42 days old maintained in two thermal environments on the zootechnical performance, intestinal morphology, hepatic glycogen, hepatic steatosis, carcass weight, organ weight and resistance bone of the tibia. 500 female quails were used, 250 of them in a thermal comfort environment and 250 in a heat stress environment, distributed in a completely randomized design in a factorial scheme (5 x 2), five levels of Zn (30, 60, 90, 120 e 150 mg / Zn per kg of feed). In the period from 1 to 21 days, increase in Zn levels resulted in reduced feed intake (WG) and worsening feed conversion (WG), while heat stress in the same phase decreased WP and worsened WC. In the total phase from 1 to 42 days there was interaction only for GP, showing that the increase of the Zn levels negatively influenced the GP of the birds created in heat stress, the CR and the AC presented worsening in the heat stress. There was interaction of the levels of Zn and the environment on the relationship vilo: crypt of the duodenum of the birds at 21 days of age, the unfolding showed linear decreasing effect as the Zn level increased in the comfort environment. At 42 days of age, the level of 150 mg / Zn presented the best relationship: duodenal crypt, the birds kept in thermal comfort also presented a better relationship vilo: crypt. The highest hepatic glycogen storage was observed at the level of 120 mg / Zn, and in a thermal comfort environment in the 21-day-old phase. At 42 days only the level of Zn was significant, with the highest glycogen stock also at 120 mg / Zn level. At 42 days the effect of Zn levels on hepatic steatosis was observed, the 90 mg / Zn level was the most positive for the absence of steatosis. At 21 days, liver and carcass weights were negatively influenced by the increase in Zn levels, heat stress decreased spleen, bursa, liver and carcass weights. For the 42 days, there was interaction on the spleen weight, presenting the highest weight at the level of 120 mg / Zn in the thermal comfort environment. The heat stress environment reduced liver and carcass weights. The tibial bone strength at 42 days increased linearly with increasing Zn levels and reduced heat stress. Based on the average of the performance variables found in the factorial regression equations, it is recommended to use 60 mg / Zn per kg in Japanese quail diets from 1 to 42 days of age in thermal comfort and heat stress.

Key words: *Coturnix coturnix japonica*, heat stress, supplementation.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015) a produção brasileira de codornas tem crescido bastante nos últimos anos independente da finalidade (carne e/ou ovos), e alcançou o número de 21,99 milhões de cabeças, representando um aumento de 8,1% comparado ao ano de 2014.

As características que levaram à grande importância econômica da criação de codornas incluem sua fertilidade e prolificidade, características estas atreladas às excelentes taxas de postura e, principalmente, ao fato de exigirem pequeno espaço para instalação do plantel. Mesmo em ascensão a coturnicultura ainda carece ultrapassar inúmeros desafios. No Brasil, na maior parte dos sistemas de produção os fatores climáticos são pouco gerenciados e o ambiente para a produção e bem-estar das aves nem sempre é compatível com as necessidades fisiológicas das mesmas (BONFIM e MELO, 2015), e com isto, uma série de consequências que estão intimamente ligadas à queda no consumo de alimentos, menor taxa de crescimento, piora da conversão alimentar e queda na produtividade.

Segundo Lima (2016), o estresse ocasionado pela elevação da temperatura pode influenciar as exigências nutricionais das aves, retenção de energia, proteína e gordura no corpo animal, devido à necessidade de ajustes fisiológicos para a manutenção da homeotermia.

Portanto, uma das técnicas para se amenizar a queda de produtividade ocasionada pela adversidade climática, principalmente altas temperaturas, pode ser através da manipulação nutricional da dieta fornecida as aves (FOUAD et al., 2016). Neste sentido, várias pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de disponibilizar os nutrientes essenciais à manutenção e produção das aves mesmo quando estas, em resposta a adversidade ambiental, reduzem o consumo de alimentos. Leeson (1986) sugere que em ambientes de temperatura elevada, a densidade de nutrientes da dieta deve ser aumentada, com mais atenção ao nível proteico. Da mesma forma, Nollet et al. (2008) sugerem aumentar os níveis de vitamina e minerais, a exemplo do zinco (Zn), o qual exerce função de minimizar os efeitos do estresse por calor.

Dentre os nutrientes, o Zn tem sido reportado na literatura por exercer uma série de funções no organismo. De acordo com Mafra e Cozzolino (2004), o Zn é cofator de mais de 300 proteínas, participando em reações do metabolismo e na divisão celular, na

proteção do sistema imune e na defesa antioxidante, protegendo estruturas biológicas como membranas, proteínas e ácidos nucleicos contra o estresse oxidativo.

Assim, o zinco tem sido utilizado na dieta das aves em função dos seus efeitos anti-estresse (SAHIN et al., 2006). Bartlett e Smith (2003) e Sahin e Kucuk (2003) relatam que as exigências por Zn aumentam e sua retenção diminui durante o estresse por calor, seja ele contínuo ou cíclico. Ainda segundo Sahin e Kucuk (2003), alta temperatura ambiente está associada à baixa digestibilidade da proteína e dos nutrientes em geral, em aves. Sahin et al. (2009) relatam que estes efeitos podem ser reduzidos com a suplementação de Zn devido ao seu papel protetor de tecidos contra danos oxidativos, ademais, este mineral pode ajudar o pâncreas funcionar corretamente, principalmente em relação às secreções digestivas, melhorando assim a digestibilidade dos nutrientes.

Diante da hipótese que o zinco atenua os efeitos negativos do estresse por calor sobre as aves, objetivou-se avaliar níveis de zinco na dieta de codornas japonesas de 1 a 42 dias de idade em dois ambientes térmicos, sobre as variáveis de desempenho zootécnico, morfometria intestinal, glicogênio hepático, esteatose hepática, peso de órgãos e carcaça, resistência óssea.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Efeito do estresse térmico sobre as aves

O ambiente onde as aves estão inseridas compreende todos os elementos físicos, químicos, biológicos, sociais e climáticos que influenciam o seu desenvolvimento e crescimento. Dentre estes, os elementos climáticos que compõem o ambiente térmico do animal incluem a temperatura, a umidade relativa, movimentação do ar e radiação, sendo estes os mais relevantes, por exercerem ação direta e imediata sobre as respostas comportamentais, produtivas e reprodutivas dos animais.

Por serem animais homeotérmicos, as aves mantêm a temperatura corporal constante, devido possuir elevada taxa metabólica gerada pela digestão de nutrientes nas células, mesmo que a temperatura do ambiente oscile. Para manter a homeotermia, as aves utilizam de mecanismos comportamentais, fisiológicos e metabólicos, para produzir calor ou perder calor para o meio. O equilíbrio perfeito é alcançado quando a quantidade de calor resultante do metabolismo animal mais a quantidade de calor absorvida do meio ambiente são iguais à quantidade de calor dissipada (BRIDI, 2010).

De acordo com Furlan (2005), a zona de conforto térmico é a faixa de temperatura ambiente efetiva onde a taxa metabólica é mínima e a manutenção da temperatura corporal é mantida com o menor gasto energético (NAZARENO et. al., 2009), circunstâncias estas que promovem às aves excelentes condições de demonstrar seu melhor potencial produtivo. De acordo com Costa et al. (2012), esta faixa está relacionada com diversos fatores, tais como: peso, idade, estado fisiológico, nível de alimentação, genética, além de fatores ligados ao ambiente, como a temperatura e umidade do ar.

Já o estresse pode ser definido como a ação inespecífica de agentes e influências nocivas, como o frio ou calor excessivo, infecção, intoxicação e etc. Dentre estes, o estresse térmico tem se destacado como um potencial redutor do desempenho, na produção de frangos de corte, tornando-se um dos maiores desafios da avicultura moderna (LOPES; RIBEIRO; LIMA, 2015).

As aves sofrem estresse por calor quando produzem mais calor do que podem dissipar. Em virtude do sistema termoregulatório ser mais adequado para reter calor do que dissipa-lo, as aves em crescimento ou adultas sofrem mais com o estresse térmico por calor do que por frio (BOSCHINI et al., 2011). Em contrapartida, aves jovens são mais tolerantes ao calor, do que as em fase de crescimento (LOPES; RIBEIRO; LIMA, 2015).

2.2. Efeito sobre o desempenho e características de carcaça

A primeira resposta da ave ao estresse por calor é a redução na ingestão de alimento. Esta estratégia visa diminuir o incremento calórico produzido durante o metabolismo dos nutrientes da dieta. Boiago et al. (2013) relataram que frangos de corte, de 1 a 42 dias de idade, mantidos em estresse por calor, reduziram o consumo de ração, quando comparado às aves submetidas a ambiente termoneutro e baixa temperatura.

A baixa disponibilidade de nutrientes ocasionada pela diminuição no consumo de ração, em aves expostas a altas temperaturas, promove redução na taxa de crescimento (SALIM et al., 2012). Segundo Sahin et al. (2009), essa redução é atribuída pela diminuição da digestibilidade dos nutrientes, que ocorre tanto devido à menor ingestão de alimento, quanto à menor atividade do pâncreas na secreção de enzimas digestivas.

O consumo de ração em frangos de corte diminui em aproximadamente 1,72% para cada 1°C de variação na temperatura ambiental entre 18 e 32°C (FERNANDES et al., 2014). Silva et al. (2012) mostraram que codornas japonesas reduzem o consumo de

ração em cerca de 83 mg/1° C em ambiente com temperatura variando de 18 a 28° C. Lima et al. (2014) também observaram um declínio no consumo de 100 para 88 mg/ dia em codornas japonesas alojadas de 22 a 34 dias de idade em temperatura de 25 a 34° C.

As codornas são aves exigentes quanto aos limites das variáveis climáticas, no entanto, a zona de conforto térmico das codornas em fase de produção situa-se em torno de 18 e 24 °C (FERREIRA et al., 2005) e a temperatura crítica superior para esses animais é considerada em torno de 28°C. As aves apresentam melhor desempenho produtivo quando criadas na zona termoneutra ou de conforto térmico, ou seja, em faixa de temperatura ambiente efetiva em que a taxa metabólica desses animais é mínima e a manutenção da temperatura corporal é mantida com o menor gasto energético (FURLAN & MACARI, 2002). Mudanças no ambiente de criação que diminuam as condições de estresse podem melhorar o conforto do animal, seu bem-estar e, consequentemente, a produção (JONES et al., 2005).

Segundo Zeferino et al. (2016), em aves de produção submetidas em ambiente de estresse térmico, pode ocorrer reduções na deposição de proteína intramuscular na carcaça do animal, afetando assim negativamente no seu desempenho. De acordo com Rao et al. (2016), a alta temperatura ambiente aumenta a produção de corticosteróides, que deprime o fator de proliferação celular.

De acordo com Oba et al. (2012), a ofegação das aves durante o estresse por calor resulta em maior atividade da musculatura do peito, demandando parte das reservas de glicogênio, usando ATP mais rapidamente do que pode repor. Então, o desenvolvimento dos músculos do peito diminui.

Sahin e Kucuk (2003) verificaram piora no consumo de ração (5,71%) em codornas japonesas (42 dias) expostas a 34°C quando comparadas àquelas mantidas a 22°C, resultando em piora de 5,95 e 5,68% na conversão alimentar e no peso final das aves, respectivamente.

As alterações metabólicas ocorridas em virtude do estresse por calor, seja agudo ou crônico, levam não só à queda no desempenho, mas, também, sobre a imunidade das aves (RIBEIRO et al., 2008).

2.3. Efeito sobre o sistema imune e órgãos

A resposta imune é altamente regulada, havendo um equilíbrio entre os sinais que iniciam a resposta imune e a mantêm em nível adequado. Quando esse equilíbrio é quebrado, como ocorre em situações de estresse por calor e ação de agentes infecciosos, resulta em imunodepressão (SILVA et al., 2013).

O organismo responde ao estresse térmico liberando adrenocorticotropina (ACTH) da hipófise anterior, glicocorticoides do córtex adrenal, epinefrina da medula adrenal e norepinefrina para os nervos simpáticos (BREUNER; ORCHINIK, 2002). Os glicocorticoides destroem os linfócitos circulantes e inibem a atividade mitótica, deprimindo a resposta imune em aves (JUNQUEIRA, 2008).

Alterações nos parâmetros hematológicos e na histomorfometria dos órgãos linfoides são observadas em aves expostas a altas temperaturas (EBRAHIMZADEH; FARHOOMAND; NOORI, 2012). Além do peso dos órgãos linfoides, esses parâmetros são frequentemente utilizados como indicadores do estresse em aves. Ribeiro et al. (2008) verificaram aumento na relação heterófilo:linfócito, em virtude do aumento no número de heterófilos e redução do número de linfócitos circulantes, em frangos de corte estressados por calor.

Apesar de esses efeitos serem mais visíveis em aves jovens, Laganá et al. (2007) verificaram que o peso relativo do baço reduz 22,5%, em frangos de corte aos 42 dias de idade, mantidos sob estresse por calor cíclico (25 a 32°C).

O baço é considerado um órgão linfóide secundário, pois é importante, mas não indispensável para o sistema imune. Nele ocorrem as respostas aos antígenos transportados no sangue (JUNQUEIRA, 2008).

Rosa et al. (2007) observaram redução dos pesos relativos do coração (20,75%) e fígado (9,60%) de frangos de corte (42 dias) mantidos em estresse por calor (32°C) em relação àqueles mantidos em condições termoneutras (23°C). Estes autores associaram a redução da exigência de manutenção à diminuição da massa dos órgãos internos e à menor atividade metabólica desses órgãos nas aves mantidas em 32°C. Segundo estes autores, as temperaturas ambientais elevadas podem causar várias mudanças fisiológicas adaptativas, dentre elas o aumento da concentração plasmática de corticosterona e a redução dos níveis séricos dos hormônios triiodotironina (T3) e tiroxina (T4), resultando em modificação do tamanho dos órgãos.

Alguns autores observaram influência do ambiente sobre a saúde intestinal, segundo Maiorka et. al. (2002), quando o intestino delgado responde a algum agente externo, ocorre um desequilíbrio no turnover celular, podendo causar modificações na

altura dos vilos. Essa morfologia intestinal pode ser influenciada pelas características da dieta, estresse calórico ou ainda, agentes patogênicos (ALVARENGA et al., 2004).

2.4. Funções do zinco no organismo do animal

A necessidade do zinco para os organismos vivos foi comprovada por Raulin em 1869. Apenas na década de 40, Keilin e Mann (1940), isolaram e purificaram a metaloenzima anidrase carbônica, que contém em sua composição 0,33% de zinco, ou seja, é um cofator desta enzima.

O zinco é um mineral essencial que funciona em inúmeras vias metabólicas e a fonte mais utilizada para suplementação na dieta animal é o zinco inorgânico na forma de sulfato de zinco (ZnSO_4) devido ao custo acessível e à alta disponibilidade comercial (FENG et al., 2011).

Várias funções fisiológicas, incluindo crescimento, reprodução, resposta imunológica e defesas antioxidantes, estão associadas ao zinco. Esse mineral age na regulação do apetite, na produção e secreção de hormônios como a testosterona, insulina e corticoides da adrenal, na manutenção da concentração normal de vitamina A no sangue (SAHIN et al., 2005), na expressão de genes, na síntese de DNA, além de ser cofator de enzimas envolvidas no metabolismo proteico e energético, de participar na síntese de colágeno e queratina, e estar envolvido no desenvolvimento do tecido ósseo (SUTTLE, 2010; MIDILLI et al., 2014).

A necessidade de suplementação dietética de Zn está bem estabelecida e é rotineiramente praticada na indústria de alimentos para aves de produção, sob a forma de sulfato de Zn (ZnSO_4) e óxido de Zn (ZnO), por razões de custo e disponibilidade (NAZ, 2016).

El-Husseiny et al. (2008) encontraram aumento de peso corporal, melhor produção de ovos e qualidade de ovo em galinhas poedeiras após suplementação de Zn (óxido de zinco inorgânico).

2.5. Absorção e metabolismo do zinco

O fígado, o pâncreas e o intestino delgado desempenham papel essencial na homeostase do zinco. Esses órgãos ajudam a manter um equilíbrio no corpo através da absorção, reabsorção e excreção de zinco (KREBS, 2000).

A absorção do zinco depende de transportadores específicos localizados na borda em escova, como o ZIP4 (SANTOS; FONSECA, 2012), como também do estado nutricional do indivíduo, da integridade intestinal, da biodisponibilidade da fonte utilizada e da composição da dieta. Pesquisas mostram que, em pintos, a absorção de zinco ocorre tanto no proventrículo quanto no intestino delgado, sendo o jejuno o maior sítio de absorção do mineral (MAIORKA et al., 2002).

Existem diferenças nos mecanismos de absorção de zinco em cada segmento intestinal. Enquanto no íleo o zinco é absorvido tanto por difusão simples como por difusão facilitada, no duodeno e no jejuno os sistemas de captação utilizam proteínas de transporte para mover o zinco por meio da bicamada lipídica da membrana plasmática (YU et al., 2010).

No meio intracelular, a metalotioneína desempenha a função de transportar o Zn absorvido. Ela tem sido identificada como uma proteína de ligação com metais no interior da célula; é rica em cisteína, apresenta afinidade de ligação relativamente alta, baixo peso molecular e possui dois sítios de ligação com o Zn: o α e o β (ROMEO et al., 2014).

O papel da metalotioneína é regular a quantidade de zinco que entra no corpo. O fígado é um dos principais sítios de síntese e armazenamento de metalotioneína e, esta representa a reserva de zinco no órgão. Quando a demanda metabólica de zinco no organismo é alta, como em situações de estresse por calor, por exemplo, a metalotioneína é prontamente mobilizada para o atendimento das necessidades, portanto, essa proteína funciona como reserva de zinco (SUO et al., 2015).

Resultados apresentados na literatura reforçam positivamente o efeito da suplementação de zinco na dieta das aves; Burrell et al. (2004) mostraram que a adição de Zn para a dieta basal com 0, 20, 40, e 80 mg/kg de sulfato de Zn (ZnSO_4) aumentou significativamente o ganho de peso de frangos de corte criados em condições ambientais termoneutras.

Chand et al. (2014) encontraram aumento de peso corporal em pintos de corte submetidos a estresse por calor suplementados com Zn (60 mg / kg) de uma fonte inorgânica. Da mesma forma, Hosseini-Mansoub et al. (2010) observaram aumento do ganho de peso corporal em aves suplementadas com Zn de fonte inorgânica. As melhorias no ganho de peso corporal e na eficiência alimentar das aves suplementadas com Zn

acima da recomendação foram atribuídas ao papel do Zn em várias atividades enzimáticas, aumentando a absorção e digestibilidade dos nutrientes (KUCUK et al., 2003).

O zinco tem função de aumentar a síntese do fator de crescimento semelhante à insulina-1 (IGF-1) e do hormônio do crescimento (GH). O IGF-1 regula a absorção de glicose e o ciclo celular, ou seja, a deficiência de zinco afetará diretamente as concentrações destes hormônios, os quais são importantes para o crescimento e o desenvolvimento do animal. (YAMAGUCHI e HASHIZUME, 1994).

Apesar de todos os benefícios apresentados pela suplementação de zinco, alguns trabalhos relatam possíveis efeitos negativos de altos níveis de zinco na dieta. Kim e Patterson (2004) mostraram que a suplementação de zinco em níveis altos pode reduzir a ingestão alimentar e, portanto, o peso corporal. Por estas razões, estudos adicionais nesta área podem ser benéficos para determinar quais níveis de zinco melhoram tanto a ingestão de alimentos como a retenção de nitrogênio, reduzindo o impacto no meio ambiente.

Em alguns casos, o excesso de zinco na dieta e o consequente maior consumo deste mineral podem resultar em diminuição de sua absorção. Isto provavelmente pode ser atribuído à saturação dos transportadores de zinco disponíveis (LÖNNERDAL, 2000).

2.6. Efeito do zinco sobre o sistema imune e órgãos

Reforçar o sistema imunitário por meio da utilização de nutrientes funcionais nas dietas, como o zinco, pode ser um meio eficiente de melhorar o desempenho de aves mantidas em condições ambientais adversas. Esse mineral estimula a produção de células T do timo, aumentando o peso desse órgão, e mantém a integridade da mucosa intestinal, inibindo a infecção por agentes patogênicos (TANG et al., 2014; KAKHKI et al., 2016).

A adequada nutrição dietética de zinco é essencial para o desenvolvimento, manutenção e função normal do sistema imunológico e das células a ele associadas, incluindo os heterófilos, basófilos, macrófagos, linfócitos B e T (SAJADIFAR; MIRANZADEH, 2013). Kidd et al. (2000) demonstraram que níveis elevados de zinco produzem melhor status imune em aves. Melhora na contagem de leucócitos no sangue de frangos de corte, e maiores pesos de baço e bolsa cloacal, foram verificados por Sajadifar e Miranzadeh (2013), quando as dietas foram suplementadas com 200 mg de zinco/kg de ração.

Os principais mecanismos de proteção antioxidante que envolvem a participação do zinco são a regulação da expressão da metalotioneína e a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD). A metalotioneína inibe reações de propagação de radicais livres por meio da ligação seletiva de íons de metais pró-oxidantes como ferro e cobre, e dos potencialmente tóxicos como cádmio e mercúrio. A ação da SOD é catalisar a redução de dois radicais de oxigênio, íon superóxido e peróxido de hidrogênio, diminuindo a toxicidade das espécies reativas de oxigênio (ROS) que desencadeiam a peroxidação lipídica (LAITY; ANDREWS, 2007).

Os processos metabólicos resultam na produção de ROS que induzem um alto risco de desenvolvimento de doenças crônicas, devido ao dano de membrana e a inibição do sistema imunológico (RAHMAN et al., 2014).

Em virtude do papel dos órgãos linfoides no desenvolvimento e função do sistema imunitário, o peso do timo, do baço e da bolsa cloacal de frangos de corte é frequentemente avaliado como indicação da função imune. A redução no peso do timo, com a suplementação de zinco nas dietas, reforça a hipótese de que a suplementação de altos níveis desse mineral, promove aumento na apoptose dos linfócitos T, causando atrofia do timo, do mesmo modo que a sua deficiência, já que o zinco é um regulador da apoptose de linfócitos (WARING et al., 1990). A apoptose tímica é um processo fisiológico normal de renovação celular, mas quando é superior à taxa mitótica de produção de linfócitos T, causa atrofia do timo e redução no peso desse órgão (JUNQUEIRA e CARNEIRO, 2008).

A bolsa cloacal, estrutura linfoide característica das aves, é o principal local de maturação dos linfócitos B, mas também apresenta alta concentração de macrófagos, os quais cooperam com os linfócitos B na promoção da resposta imunitária do organismo (MURAKAMI et al., 2014). Apesar de estudos demonstrarem que o peso e a porcentagem de parênquima da bolsa cloacal de frangos de corte são aumentados em aves que recebem zinco e arginina nas dietas, em virtude do poder antioxidante do primeiro nutriente (EZZATI et al., 2013), e, do segundo, em aumentar a produção de óxido nítrico para defesa imunológica e regular a interação entre macrófagos e linfócitos (RUBIN et al., 2007), alterações no peso e na morfometria desse órgão não foram observadas nas aves mantidas em estresse por calor.

Estudos demonstraram que o estresse por calor provoca um aumento da produção de radicais livres e abaixa as concentrações de vitaminas E, C e A, e minerais tais como o Zn no soro (SAHIN et al., 2005). As concentrações de malondialdeído (MDA), um

indicador da peroxidação lipídica, diminuíram no plasma de codornas mantidas em ambiente quente quando Zn quelatado foi suplementado (SAHIN et al., 2005). Sahin e Kucuk (2003) relataram que a utilização de 30 ou 60 mg/kg de Zn diminuiu os níveis de MDA no plasma e no fígado de frangos mantidos em estresse por calor.

Sahin et al. (2005) relataram que as concentrações séricas de vitamina C e E aumentaram linearmente, enquanto que as concentrações de MDA diminuíram linearmente com suplementação de 30 ou 60 mg/kg de ZnSO₄ e Zn quelatado. Numa experiência similar, Kucuk et al. (2003) relataram que a suplementação de Zn aumentou os níveis de proteína sérica total, mas os níveis de glicose, colesterol, e as concentrações de MDA diminuíram em frangos de corte estressados pelo calor.

Para a avaliação do efeito de Zn no desempenho sobre o estado imunitário durante o estresse térmico, Bartlett e Smith (2003) utilizaram frangos de corte machos criados em ambientes termoneutro e com alta temperatura, alimentados com baixo (34 mg/kg), adequado (68 mg/kg), e elevado (181 mg/kg) nível de zinco. Os autores relataram que o estresse por calor reduziu o peso dos órgãos linfóides, respostas de anticorpos primários e secundários, capacidade fagocítica dos macrófagos e concentração de Zn no plasma, porém, estas respostas aumentaram naquelas aves que foram criadas em alta temperatura e que receberam o nível elevado de Zn (181 mg/kg).

Sunder et al. (2008) relataram que a resposta imune humoral foi superior em frangos de corte suplementados com 80 mg/kg de Zn comparados àqueles suplementados com níveis mais baixos. O peso da bolsa cloacal e do baço foram superiores ao nível de 40 mg/kg de Zn em comparação com níveis mais baixos.

O zinco tem efeitos como o aumento da proliferação de células da cripta, melhorando o turnover e reparo das células epiteliais e mantendo a estrutura e função da barreira intestinal (HU et al., 2013; MOCHEGANI et al., 2013).

Além disso, o zinco desempenha importante papel de defesa sobre o intestino delgado (LI et al., 2001; PAYNE et al., 2006), os mesmos autores relatam que a suplementação de Zn nas dietas melhora a morfologia intestinal aumentando a altura das vilosidades e reduzindo a profundidade da cripta.

A atuação do zinco na microbiota intestinal ocorre devido à sua capacidade de manter a integridade da mucosa ao inibir o crescimento de bactérias causadoras de infecções, e protozoários que penetram nas células epiteliais do intestino delgado, provocando hemorragias e alterações no metabolismo dos nutrientes da dieta (ZHANG et al., 2012). Os mesmos autores observaram que a suplementação dietética de 80 mg ou

120 mg de zinco/kg de ração alivia a perda de função da barreira da mucosa intestinal induzida por *Salmonella enterica* sorotipo Typhimurium, pois os frangos de corte apresentaram aumento na altura das vilosidades e melhora na relação altura de vilosidade: profundidade de criptas do íleo.

2.7. Efeitos do Zinco sobre a saúde óssea

A deficiência de Zn dietético em pintos resulta em várias anormalidades ósseas, malformações esqueléticas, mineralização óssea fraca, crescimento atrofiado e disfunções imunológicas (Kidd et al., 1996). Sahraei et al. (2012) relataram que a suplementação com 150 mg / kg de Zn na dieta de frangos em crescimento resultou em maior resistência (kgf) da tíbia. A suplementação de Zn aumenta a resistência óssea por modulação favorável do osso e pela inibição da diferenciação dos osteoclastos (NAGATA e LÖNNERDAL, 2011).

Alguns pesquisadores relataram que as propriedades biomecânicas e a mineralização do osso nas aves foram positivamente afetadas pela suplementação de Zn (Sunder et al., 2008; Idowu et al., 2011; Sahraei et al., 2012) em dietas.

Wang et al. (2002) observaram que o menor conteúdo de Zn na dieta levou à redução na densidade óssea e comprimento do osso. Midilli et al. (2015) mostraram que a resistência óssea de aves em estresse por calor não foi afetada com níveis acima de 75mg/kg de zinco orgânico ou inorgânico. Idowu et al. (2011) relataram que a concentração de zinco na tíbia em amostras de galinhas poedeiras suplementadas com Zn, foi significativamente maior em relação ao grupo controle.

O zinco desempenha papéis cruciais no organismo animal. Age como cofator de diversas enzimas envolvidas no metabolismo de nutrientes, participa da síntese do DNA, está envolvido na saúde intestinal e participa da resposta imunitária e da defesa contra o estresse. No entanto, dietas para codornas japonesas compostas principalmente por milho e farelo de soja apresentam níveis deste nutriente abaixo dos requerimentos mínimos dos animais, sendo então, indispensável a suplementação deste mineral.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local, aves, dietas e tratamentos

O experimento foi desenvolvido nas instalações da Unidade de Pesquisa em Bioclimatologia, Etologia e Bem-Estar Animal do Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, localizado no município de Areia-PB, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2017, após ser aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFPB (Certidão de Aprovação n°. 107/2017). Foram utilizadas duas câmaras climáticas, com área de 19,71m², equipadas com ar-condicionado, aquecedor, umidificador, desumidificador, exaustores e termostato, as quais eram monitoradas por sistema computadorizado localizado em uma sala de controle (Figura 1).

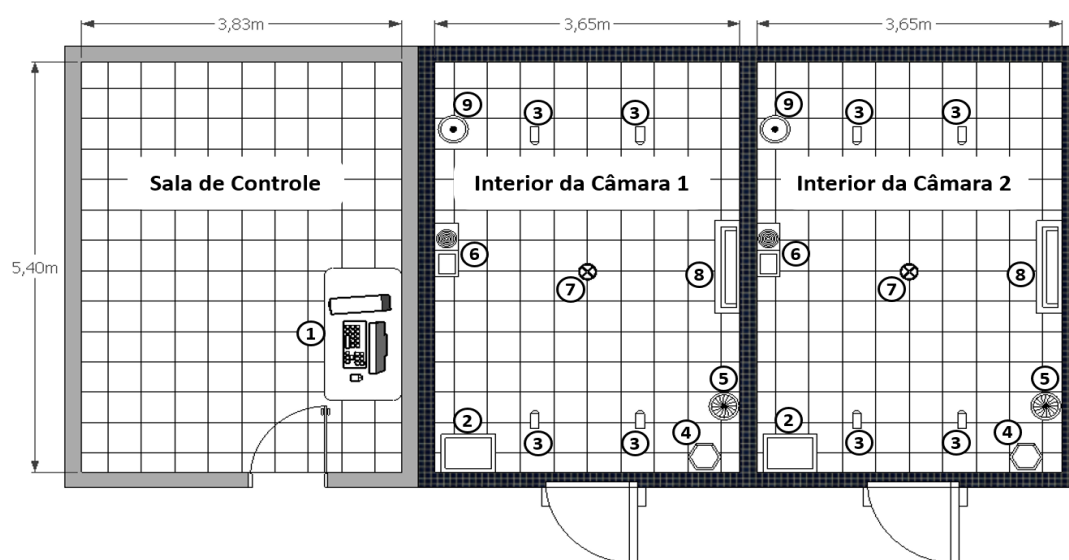


Figura 1 - Esquema geral da sala de controle e câmaras climáticas: 1. Painel de controle; 2. Desumidificador; 3. Câmera; 4. Umidificador; 5. Exaustor (Pressão Negativa); 6. Aquecedor; 7. Termostato; 8. Ar condicionado; 9. Exaustor (Pressão Positiva).

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 5x2, sendo cinco níveis de zinco na dieta (30, 60, 90, 120 e 150 mg/kg de ração) e duas condições ambientais (conforto térmico e estresse por calor), com cinco repetições por tratamento. As dietas experimentais (Tabela 1) foram formuladas com milho e farelo de soja, para atender às exigências das codornas, de acordo com as recomendações nutricionais de Rostagno et al. (2011), bem como a composição química dos ingredientes. O premix mineral utilizado foi livre de zinco. O fornecimento de alimento e água foi *ad libitum* para todos os animais.

Tabela 1- Composição e conteúdo de nutrientes das dietas experimentais para codornas japonesas de 1 a 42 dias de idade.

Ingredientes (kg)	Níveis de Zn (mg/kg)				
	30	60	90	120	150
Milho grão, 7,88%	56,211	56,211	56,211	56,211	56,211
Farelo de soja, 45%	38,518	38,518	38,518	38,518	38,518
Óleo de soja	1,373	1,373	1,373	1,373	1,373
Calcário calcítico	1,196	1,196	1,196	1,196	1,196
Fosfato bicálcico	1,387	1,387	1,387	1,387	1,387
Sal comum	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406
DL-Metionina	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165
L-Lisina HCl	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
L-Treonina	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037
Cloreto de colina, 60%	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
Premix mineral (livre de Zn) ¹	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Premix vitamínico ²	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Coccidiostático (Coxistac) ³	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Promotor de crescimento (Surmax) ⁴	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Butil-Hidróxi-Tolueno (BHT)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Sulfato de Zn (35%)	0,000	0,086	0,171	0,257	0,342
Inerte	0,342	0,256	0,171	0,085	0,000
TOTAL	100	100	100	100	100
Composição química					
Proteína Bruta (%)	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
Energia Metabolizável (kcal/kg)	2900	2900	2900	2900	2900
Metionina + Cisteína digestível (%)	0,760	0,760	0,760	0,760	0,760
Lisina digestível (%)	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120
Treonina digestível (%)	0,790	0,790	0,790	0,790	0,790
Valina digestível (%)	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940
Triptofano digestível (%)	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
Cálcio (%)	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
Fósforo disponível (%)	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
Sódio (%)	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
Cloro (%)	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Potássio (%)	0,860	0,860	0,860	0,860	0,860
Zinco (mg/kg)	30	60	90	120	150

¹Premix mineral (por kg): 10 mg de Cu, 50 mg de Fe, 80 mg de Mn, 1,2 g de I.

²Premix vitamínico (por kg): 8,000 UI de vitamina A, 2,000 UI de vitamina D3, 15 mg de vitamina E, 2 mg de vitamina K, 3 mg de vitamina B1, 4 mg de vitamina B2, 2 mg de vitamina B6, 10 mg de vitamina B12, 60 mg de biotina, 15 mg de ácido pantotênico, 30 g de niacina, e 7 mg de ácido fólico, 4 g de selênio.

³Salinomicina 12 %, Phibro;

⁴Avilamicina.

Como as exigências térmicas das aves domésticas mudam de acordo com seu crescimento, foram definidas faixas de condições térmicas diferentes para cada uma das câmaras climáticas. Estas faixas (Tabela 2) foram seguidas conforme recomendação de Sousa (2013). As médias de umidade relativa do ar no interior das duas câmaras foram entre 65 a 70%.

Tabela 2- Temperatura utilizada nas câmaras climáticas para as duas condições ambientais de acordo com a idade das aves (SOUSA, 2013).

Idade (Dias)	Conforto térmico (°C)	Estresse por calor (°C)
1 a 7	36	41
8 a 14	32	37
15 a 21	28	34
22 a 42	26	33

°C- Grau Celsius.

Foram utilizadas 500 codornas fêmeas da linhagem *Coturnix coturnix japonica*, com peso inicial de ± 7 g, distribuídas em 50 boxes, sendo 25 boxes em cada câmara climática e 10 aves por box. Os boxes possuíam dimensão de 0,19m² (0,55 x 0,35m), todas providas de comedouros e bebedouros adequados à fase de criação dos animais. Na primeira semana de criação (1° ao 7° dia), foi utilizado comedouro do tipo prato coberto com tela plástica, evitando assim possíveis desperdícios, e um bebedouro do tipo infantil (Figura 2). No 5° dia foi colocada uma tela sobre todos os boxes (Figura 2), impedindo que as aves voassem. A partir da segunda semana até o final da criação (8° ao 42° dia), utilizaram-se comedouros do tipo tubular e dois bebedouros infantis (Figura 2). O arraçãoamento nos comedouros e abastecimento dos bebedouros foi realizado duas vezes ao dia (7 h e 19 h), a limpeza das instalações bem como de todos os bebedouros foi realizada diariamente pela manhã (7 h).

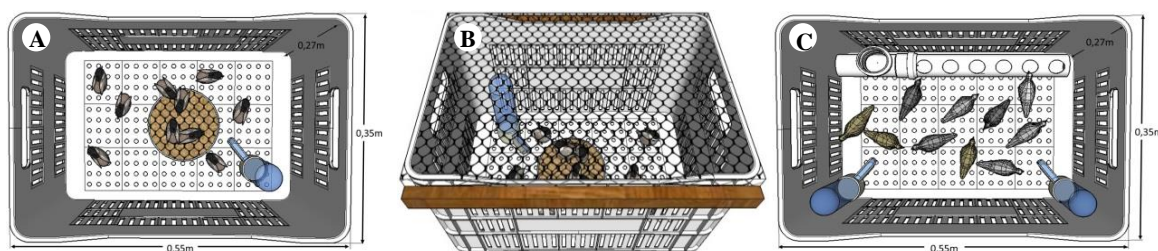


Figura 2- Box equipado com bebedouro e comedouro utilizado do 1° ao 7° dia de idade (A); Box coberto com tela a partir do 5° dia experimental (B); Box equipado com bebedouro e comedouro utilizado do 8° ao 42° dia de idade (C).

O programa de luz utilizado foi de 24 h de luz do 1° ao 20° dia, 18 h do 21° ao 34° dia, e 17 h do 35° ao 42° dia. As aves foram vacinadas contra as doenças de newcastle e gumboro via água.

3.2. Variáveis Analisadas

3.2.1. Desempenho Zootécnico

No 7°, 14°, 21°, 35° e 42° dia, as aves e as sobras de ração foram pesadas para determinar o ganho de peso (GP), consumo de ração (CR) e conversão alimentar (CA).

O ganho de peso foi determinado pela diferença entre os pesos final e inicial; o consumo de ração, pela diferença entre a ração fornecida e as sobras obtidas; e a conversão alimentar, pela relação entre o consumo de ração e o ganho de peso das aves.

3.2.2. Peso de órgãos e carcaça

No 22° e 42° dias, foram retiradas duas codornas com peso médio de cada unidade experimental ($\pm 5\%$), totalizando 100 aves em cada idade, que foram identificadas e mantidas em jejum alimentar por 8 horas, para redução do conteúdo do trato digestório. Após o jejum alimentar, as codornas foram eutanasiadas por deslocamento cervical, depenadas e evisceradas para a obtenção do peso da carcaça. Em seguida, foram separados dos órgãos internos (baço, fígado e bolsa cloacal), sendo cada órgão pesado individualmente em balança de precisão.

3.3.3. Resistência óssea da tíbia

No 42° dia de idade, foram separadas e congeladas amostras das coxas esquerdas de duas aves/gaiola, em seguida a carne e a cartilagem que envolviam os ossos foram retiradas. Os ossos *in natura* foram secos em temperatura ambiente para posterior análise (KIM et al. 2004).

Para análise de resistência óssea (RO, kgf), foi utilizado o aparelho universal de teste TA-XT Plus Stable Micro Systems (Surrey, UK) com uma célula de carga de 50 kg a uma velocidade de 50 mm/min, o acessório para fratura 3 POINT BEND RIG (HDP/3PB), Stable Micro Systems, foi regulado para permitir que o vão livre da diáfise fosse de 3,0 cm (PARK et al., 2003).

3.3.4. Análise histológica

Para análise histológica foi realizada a coleta de amostras de aproximadamente 3 cm da porção medial do duodeno e um fragmento do fígado de dez animais por tratamento. As amostras foram lavadas com água destilada e fixadas em formol a 10% por 24 horas. Em seguida, foram desidratadas em série crescentes de álcoois (70, 80, 90 e 100%), diafanizadas em xilol e incluídas em parafina. Realizou-se então a microtomia semi-seriada a uma espessura de 5 μ m, e para cada tratamento foram confeccionadas duas lâminas do duodeno e fígado.

As lâminas de duodeno foram coradas com hematoxilina e eosina e analisadas em microscopia de luz. O estudo morfométrico foi realizado utilizando-se o sistema analisador de imagens Olympus cellSens Dimension. As variáveis estudadas foram altura de vilosidade, profundidade de cripta e relação vilosidade:cripta. A altura de vilosidade foi determinada do ápice até a sua região basal que coincide com a superfície da cripta, e a profundidade de cripta foi medida a partir da região de transição vilosidade cripta até sua base. Para cada animal foram realizadas 6 mensurações totalizando 60 mensurações por tratamento, para cada variável estudada. A partir dos resultados obtidos para altura de vilosidade e profundidade de cripta, procedeu-se o cálculo da relação vilosidade:cripta.

Para a análise do índice de estoque de glicogênio hepático foi utilizada a coloração de ácido periódico e reativo de Schiff (PAS) que cora glicoproteínas, dentre elas o glicogênio hepático. As fotomicrografias, 3 para cada animal, perfazendo um “n” de 30 por tratamento foram analisadas à microscopia óptica. As mesmas foram classificadas de acordo com o grau de depósito de glicogênio em virtude da positividade à coloração de PAS: Grau +: pouco depósito de glicogênio hepático; Grau ++: moderado depósito de glicogênio hepático; e Grau +++: bastante depósito de glicogênio hepático. Para análise do índice de depósito de glicogênio hepático, as cruzes foram transformadas em números correspondentes (+ = 1, ++ = 2, +++ = 3) para a realização da estatística conforme Escore Semi quantitativo de Ishak.

Para análise do grau de esteatose hepática, atribui-se um escore de avaliação para cada fígado analisado através de fotomicrografias hepáticas de cada animal (10 animais por tratamento), considerando a quantidade e o tamanho dos vacúolos citoplasmáticos lipídicos dos hepatócitos na coloração de hematoxilina-eosina, sendo: 0 (ausência de esteatose), 1 (pouca esteatose), 2 (esteatose moderada) e 3 (esteatose avançada), seguindo de forma modificada o Escore Semi Quantitativo de Ishak (ISHAK et al., 1995).

3.4. Análise estatística

As variáveis de desempenho, morfometria do aparelho digestivo (duodeno), peso de órgãos e carcaça e resistência óssea foram submetidas à análise estatística utilizando o software SAS (SAS Institute, 2011). O nível de significância estatística foi de $P < 0,05$ e a estimativa do melhor nível de suplementação de zinco foi estabelecida pelos modelos de regressão polinomial, e para efeito de ambiente as médias foram comparadas pelo teste T. Quando significativo às equações são demonstradas, e em ajuste de regressão quadrática derivou-se as equações estimando-se os valores de máxima e mínima dos níveis de suplementação de zinco.

Foi utilizado o software estatístico R para a análise de escore de glicogênio hepático e esteatose hepática. Para a análise de esteatose hepática foi considerada apenas a fase de 42 dias de idade.

Para tanto procedeu-se com a análise de regressão logística considerando a distribuição logit cumulativo para estimar as probabilidades relativas dos escores adotados nas variáveis dos níveis de suplementação de zinco nas dietas pela distribuição multinomial dos dados. As técnicas de regressão ordinal modelam as probabilidades cumulativas de que uma dada resposta (Y) se situa dentro ou abaixo de uma dada categoria (j) para todos os valores possíveis de j (AGRESTI, 1996). Quando significativo gerou-se gráficos para demonstrar o comportamento dos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variáveis de desempenho

Interações entre os níveis de zinco e o ambiente térmico sobre os parâmetros de desempenho não foram observadas na fase de 1 a 21 dias (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Sahin e Smith (2005), onde não verificaram interação do ambiente com a dieta, em codornas criadas em conforto térmico e estresse cíclico por calor suplementadas por Zn inorgânico e orgânico em diferentes níveis.

Houve efeito isolado dos níveis de zinco das dietas sobre o ganho de peso ($P = 0,0386$, GP) e a conversão alimentar ($P = 0,0060$, CA) das aves, não sendo observado efeito ($P > 0,05$) sobre o consumo de ração (CR). Pela análise de regressão observou-se que o GP diminuiu de forma linear ($P = 0,0078$), por outro lado, a CA piorou de forma linear crescente ($P = 0,0007$), com o aumento dos níveis de zinco na dieta (Tabela 3).

Lopes et al. (2015), assim como verificado nessa pesquisa, observaram queda no índice de eficiência produtiva de frangos de corte de na fase inicial, mantidos em ambiente de estresse por calor, em função da inclusão de 120 mg de zinco/kg de ração; confirmando que, nesse nível do mineral, a eficiência produtiva das aves, em fase inicial, é comprometida e, portanto, não deve ser utilizado.

Considerando a importância das variáveis de desempenho na criação de codornas de postura, a partir dos resultados observados, pode-se inferir que os maiores níveis de suplementação de zinco não conferiram resposta superior à apresentada pelas aves que receberam a dieta com os menores níveis. Logo, os teores de zinco presentes nos menores níveis foram suficientes para o desenvolvimento das codornas em fase inicial.

Tabela 3- Desempenho de codornas japonesas de 1 a 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.

Níveis de Zn (mg/kg)	Consumo de Ração (g/ave)	Ganho de Peso (g/ave)	Conversão Alimentar (g/g/ave)
30	197,02	86,84	2,27
60	196,84	87,40	2,25
90	196,27	85,60	2,29
120	195,77	84,90	2,30
150	197,82	82,87	2,38
Ambiente*			
Conforto	200,64 A	86,07	2,33 A
Estresse por calor	192,18 B	84,78	2,26 B
C.V. (%)	3,43	3,52	2,68
Valor de P			
Zn	0,9868	0,0386	0,0060
Ambiente	0,0007	0,1491	0,0061
Zn x Ambiente	0,5180	0,4134	0,4630
Regressão			
Linear	0,9542	0,0078 ¹	0,0007 ²
Quadrática	0,6166	0,3897	0,0746

*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste T (P<0,05);

¹GP_{1-21 dias}= -0,0348x + 88,654; R² = 0,8589

²CA_{1-21 dias}= 0,0009x + 2,217; R² = 0,7379

Como pode ser observado na Tabela 3, o ambiente térmico onde as aves foram alojadas influenciou o CR e a CA das mesmas; no conforto térmico as aves apresentaram maior CR (P= 0,0007) e pior CA (P= 0,0061), comparado ao ambiente de estresse por calor. O GP por sua vez não foi influenciado pelo ambiente térmico a que os animais

estavam submetidos. A melhor CA (2,26) observada nas aves que estavam em estresse por calor pode estar relacionado à maior tolerância ao calor das aves nessa fase inicial de criação; o estresse por calor promoveu uma redução no CR dos animais, mas não promoveu uma redução equivalente no GP, fato que melhorou a CA no referido ambiente. A menor exigência de manutenção ajuda a explicar porque a conversão alimentar das codornas alojadas em ambiente quente foi melhor.

Resultados semelhantes para CA foram encontrados por Berto (2012) ao estudar os efeitos da interação da temperatura ambiente com a nutrição para codornas japonesas; os resultados foram justificados pelo fato das aves mantidas em conforto térmico consumirem maior quantidade de alimento, apresentando pior conversão, aves mantidas em ambiente de estresse por calor ingeriram menor quantidade de ração, resultando em melhores conversões. Ademais, segundo Lopes et al. (2015), as aves jovens são mais tolerantes ao calor, pois suportam temperatura crítica superior maior do que as aves em fase de crescimento.

No período total de criação, 1 a 42 dias de idade, foi observada interação ($P=0,0019$) entre os níveis de Zn e a dieta para o GP das aves (Tabela 4). Quando analisado de forma isolada, os níveis de Zn não apresentaram efeito sobre as variáveis de CR e CA (Tabela 4). Resultados semelhantes foram encontrados por Yang et al. (2016), que não observaram efeito significativo para CR e CA de frangos de corte aos 42 dias de idade alimentados com diferentes níveis de Zn.

Como pode ser observado na Tabela 4, houve efeito isolado do ambiente térmico para a CA, as aves criadas em estresse por calor tiveram piora de 3,75% na CA em relação às criadas em conforto térmico. Observa-se que, mesmo não havendo efeito do ambiente sobre CR, ocorreu piora do GP e CA das aves, esse acontecimento pode ser atribuído por não aproveitar de forma eficiente os nutrientes oferecidos pela alimentação, obtendo como resultado baixa digestibilidade e consequentemente pior desempenho.

Tabela 4- Desempenho de codornas japonesas de 1 a 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.

Níveis de Zn (mg/kg)	Consumo de Ração (g/ave)	Ganho de Peso (g/ave)	Conversão Alimentar (g/g/ave)
30	540,37	131,72	4,10
60	518,83	132,11	3,93
90	527,83	128,88	4,09
120	527,50	128,85	4,10
150	518,57	126,22	4,11
Ambiente*			
Conforto	532,82	133,22 A	4,00 B
Estresse por calor	521,25	125,73 B	4,15 A
C.V. (%)	3,25	1,77	4,06
Valor de P			
Zn	0,1033	0,0001	0,2634
Ambiente	0,0609	<0.0001	0,0133
Zn x Ambiente	0,7369	0,0119	0,6209
Regressão			
Linear	0,0708	<0.0001	0,2773
Quadrática	0,6277	0,1916	0,3648

*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste T ($P < 0,05$);

De acordo com Sousa et. al. (2014), as codornas produzem mais calor que outras espécies de aves por apresentarem maior atividade motora, mas perdem este calor com maior facilidade devido à alta relação superfície: massa corporal, o que garante maior tolerância desta espécie ao calor sem alterar severamente o consumo.

Segundo Bonfim et. al. (2015), o estresse por calor diminui o metabolismo do animal, interferindo na digestão e consequentemente aproveitamento dos alimentos, nesse sentido, diminui o conteúdo de nutrientes disponíveis para a síntese de tecidos corporais, prejudicando significativamente o desempenho animal.

Na Tabela 5, consta o desdobramento do efeito da interação entre os níveis de Zn da dieta e o ambiente térmico sobre o ganho de peso. Os níveis de Zn influenciaram de forma linear decrescente ($P = < 0.0001$) o GP das aves mantidas em estresse por calor, mas não para aves mantidas em conforto térmico ($P = 0,0997$).

Tabela 5- Desdobramento da interação entre os níveis de zinco e diferentes ambientes sobre o ganho de peso de codornas de 1 a 42 dias.

Níveis de Zn (mg/kg)	Ganho de Peso (g/ave)	
	Conforto	Estresse por calor
30	134,00	129,45
60	135,44	128,78
90	131,18	126,59
120	134,89	122,81
150	131,06	119,78
Regressão		
Linear	0,0997	<0.0001 ¹
Quadrática	0,5781	0,1986

¹GP_{1-42 dias} = -0,0844x + 133,08; R² = 0,949

Pelo resultado obtido pode observar que os níveis de Zn acima de 30 mg/kg de ração não apresentaram efeitos benéficos para o ganho de peso das aves mantidas em estresse por calor. Essa divergência pode ser explicada em parte pela quantidade de zinco utilizado no suplemento mineral da dieta basal, ou seja, a suplementação convencional de zinco foi suficiente para protegê-las de danos oxidativos não sendo necessário adicionar níveis acima do habitual.

Existem resultados conflitantes sobre a influência do zinco sobre o desempenho de aves estressadas. Os resultados obtidos concordam com os de Bartlett & Smith (2003) que não encontraram efeito sobre o desempenho em frangos de corte estressados pelo calor e suplementados com zinco.

4.2. Morfometria Intestinal

Houve efeito isolado dos níveis de zinco sobre a altura de vilo, profundidade de cripta e relação vilo:cripta (Tabela 6). Pela análise de regressão observou-se o aumento da altura de vilo. A profundidade de cripta apresentou efeito de forma linear crescente ($P < 0.0001$), de acordo que se aumentava o nível de zinco na dieta, consequentemente afetando de forma negativa, diminuindo a relação vilo:cripta. Aos 21 dias de idade, ainda está ocorrendo o processo de crescimento das vilosidades, e as células das criptas estão em elevado processo de proliferação, ou seja, as criptas estão com uma maior profundidade, contribuindo assim na redução da relação vilo:cripta.

Embora o turnover intestinal seja alto, com o epitélio se renovando integralmente a cada 8-9 dias, o ideal seria criptas rasas e vilos mais altos, o que denotaria boa saúde intestinal, pois demonstraria não haver necessidade de reposição celular fora da

normalidade, pois alta proliferação nas criptas (maior profundidade) pode ser ocasionada por lesão mecânica ou por ação de microorganismos. Na condição dita como ideal (alta vilosidade e cripta rasa) a relação vilo:cripta, parâmetro muitas vezes utilizado para mensurar a saúde intestinal, é maior. Aos 21 dias, na tentativa de fazer a vilosidade aumentar de tamanho, o índice mitótico na cripta provavelmente é muito alto, o que leva a uma relação vilo:cripta mais baixo. Criptas mais profundas são tipicamente observadas em situações de alta rotatividade de vilosidades, como fases de crescimento rápido e inflamação (Awad et. al. 2009), para manter a integridade da mucosa intestinal, como observado no presente estudo.

Esta menor relação vilo:cripta das codornas alimentadas com os maiores níveis de zinco na dieta demonstra que o aumento na suplementação de zinco promove maior proliferação celular na cripta, o que a deixa mais profunda; não necessariamente sendo um indicativo de baixa saúde intestinal, mas sim de crescimento. O crescimento das estruturas absorptivas do intestino demanda muita energia, sendo assim, esse animal nesse momento de crescimento de vilosidade ao invés de produzir mais, ele usa toda excedente energético para aumentar as suas vilosidades. Segundo Arruda et. al. (2008), quanto mais alta a relação vilo:cripta, melhor é a absorção de nutrientes e menor as perdas energéticas com renovação celular.

Tabela 6- Morfometria duodenal de codornas japonesas aos 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.

Níveis de Zn (mg/kg)	Altura de Vilo (μ m)	Profundidade Cripta (μ m)	Relação V/C
30	423,95	47,60	9,49
60	437,32	56,44	8,82
90	432,77	51,79	8,74
120	414,76	52,59	8,28
150	457,65	62,40	7,88
Ambiente*			
Conforto	435,62 A	56,08 A	8,71
Estresse por calor	427,35 B	52,24 B	8,58
C.V. (%)	20,63	27,36	30,85
Valor de P			
Zn	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Ambiente	0,0004	0,0014	0,5315
Zn x Ambiente	<0.0001	0,0024	<0.0001
Regressão			
Linear	0,7342	<0.0001	<0.0001
Quadrática	0,7551	0,1411	0,8537

*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste T ($P < 0,05$);

O ambiente de conforto térmico exerceu influência positiva na altura de vilosidade duodenal e profundidade de cripta das codornas mantidas neste ambiente com 21 dias (Tabela 6). Estes resultados corroboram aqueles de Marchini et al. (2009), que ao avaliarem a morfometria intestinal em frangos de corte, encontraram melhores resultados nas aves alojadas em ambiente de conforto térmico dos 14 a 21 dias de idade.

Os menores valores de altura de vilosidade e área de absorção no ambiente de estresse térmico podem estar associados à redução no consumo de ração das codornas mantidas neste ambiente de elevada temperatura, como pode ser verificado na Tabela 6. Vale ressaltar, que a presença de substrato no lúmen do intestino é fator primordial para o crescimento dos vilos intestinais (MAIORKA et al., 2002).

Houve interação dos níveis de Zn e os ambientes térmicos sobre a altura de vilo ($P < 0,001$) e profundidade de cripta e na relação vilo:cripta ($P < 0,001$) das aves aos 21 dias (Tabela 6).

Na Tabela 7 se observa o desdobramento do efeito da interação entre os níveis de zinco da dieta e o ambiente térmico sobre a relação vilo:cripta. Os níveis de zinco influenciaram de forma linear decrescente ($P = < 0,0001$) a relação vilo:cripta das aves

mantidas em conforto térmico, à medida que se aumentou o nível de Zn na dieta reduziu a relação vilo:cripta do duodeno.

Tabela 7- Desdobramento da interação entre os níveis de zinco e diferentes ambientes térmicos sobre a relação vilo:cripta de codornas japonesas aos 21 dias de idade.

Níveis de Zn (mg/kg)	Relação V/C	
	Conforto	Estresse por calor
30	10,25	8,73
60	8,30	9,34
90	8,65	8,83
120	9,45	7,12
150	6,91	8,86
Regressão		
Linear	<0.0001 ¹	0,0696
Quadrática	0,5677	0,4054

¹RVC_{21 dias} = -0,0184x + 10,371; R² = 0,483

No ambiente de conforto térmico pode observar que os níveis de Zn acima de 30 mg/kg de ração não apresentaram efeitos benéficos para a relação vilo:cripta das aves (Tabela 7), ou seja, a dieta basal de zinco foi suficiente para protegê-las de danos oxidativos não sendo necessário adicionar níveis acima daqueles preconizados. Quando analisado a interação dos níveis de Zn com o ambiente de estresse por calor, não foi observado efeito significativo.

Não houve interação entre os níveis de zinco da dieta e o ambiente térmico sobre a relação vilo:cripta nas aves aos 42 dias de idade (Tabela 8). Pela análise de regressão foi observado efeito quadrático para altura de vilo ($P=0,0097$), profundidade de cripta ($P=0,0007$) e para relação vilo:cripta, sendo estimado o nível de 150 mg/kg de Zn na dieta para se obter a melhor relação vilo:cripta.

Diferente da fase de 21 dias de idade, nesta fase as vilosidades já alcançaram o seu tamanho máximo, então ocorre diminuição do processo de proliferação das criptas a um nível que permita apenas a renovação do epitélio duodenal, provocando diminuição de sua profundidade e consequentemente aumentando a relação vilo:cripta, ou seja, proporcionou maior área de absorção dos nutrientes.

Tabela 8- Morfometria duodenal de codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.

Níveis de Zn (mg/kg)	Altura de Vilo (μ m)	Profundidade Cripta (μ m)	Relação V/C
30	462,98	44,52	10,88
60	442,99	44,63	10,71
90	421,24	43,75	10,11
120	482,46	48,18	10,64
150	460,39	39,66	12,29
Ambiente*			
Conforto	456,63	44,90	11,20 A
Estresse por calor	451,39	43,40	10,66 B
C.V. (%)	19,76	25,28	31,26
Valor de P			
Zn	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Ambiente	0,4710	0,0970	0,0486
Zn x Ambiente	<0.0001 ¹	<0.0001 ²	0,1138
Regressão			
Linear	0,1823	0,0992	0,0052
Quadrática	0,0097	0,0007	<0.0001

*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste T ($P < 0,05$);

¹AV_{42 dias} = $0,0063x^2 - 1,0116x + 483,13$; $R^2 = 0,264$

²PC_{42 dias} = $-0,0009x^2 + 0,1501x + 40,024$; $R^2 = 0,3793$

Observa-se na Tabela 8, que a relação vilo:cripta no conforto térmico aumentou ($P = 0,0486$) em relação as aves mantidas em ambiente de estresse térmico.

Quando o intestino delgado responde a algum agente externo, ocorre um desequilíbrio no *turnover* celular, podendo causar modificações na altura dos vilos (MAIORKA et al., 2002). Essa morfologia intestinal pode ser influenciada pelas características da dieta, estresse calórico ou ainda, agentes patogênicos (ALVARENGA et al., 2004).

A melhor relação vilo:cripta observada no ambiente de conforto térmico aos 42 dias pode justificar os melhores índices de desempenho zootécnico das aves para a mesma fase mantidas em conforto térmico.

Vilosidades mais largas e com mais ramificações proporcionam maior área de contato da superfície de absorção intestinal com o alimento, aumentando, dessa forma, a captação de nutrientes. O resultado desta pesquisa para estas variáveis estão de acordo com os encontrados por Cavalieri (2013), que demonstrou que a mucosa intestinal responde a agentes exógenos por meio de modificações morfológicas.

4.3. Características de Fígado

Na Figura 3, são apresentados os níveis de estoque do glicogênio hepático. Dentro de cada ambiente térmico, analisando os níveis de zinco, observa-se que o escore de glicogênio se comportou de forma semelhante para as duas situações. Houve efeito isolado do zinco sobre os três escores avaliados. Observa-se que com o nível de 120 mg/Zn na dieta, o escore 1 (pouco estoque de glicogênio) ocorreu em menor probabilidade e no nível de 60 mg/Zn, em maior probabilidade para ambos ambientes térmicos. No entanto, quando analisamos o escore 2 (moderado estoque de glicogênio) verificamos o inverso, ou seja, o nível de 120 mg/Zn apresentou maior probabilidade do escore 2, e o nível de 60 mg/Zn em menor probabilidade. O escore 3 (abundante estoque de glicogênio) se manteve na mesma tendência do escore anterior para os dois ambientes, porém em menor grau de probabilidade.

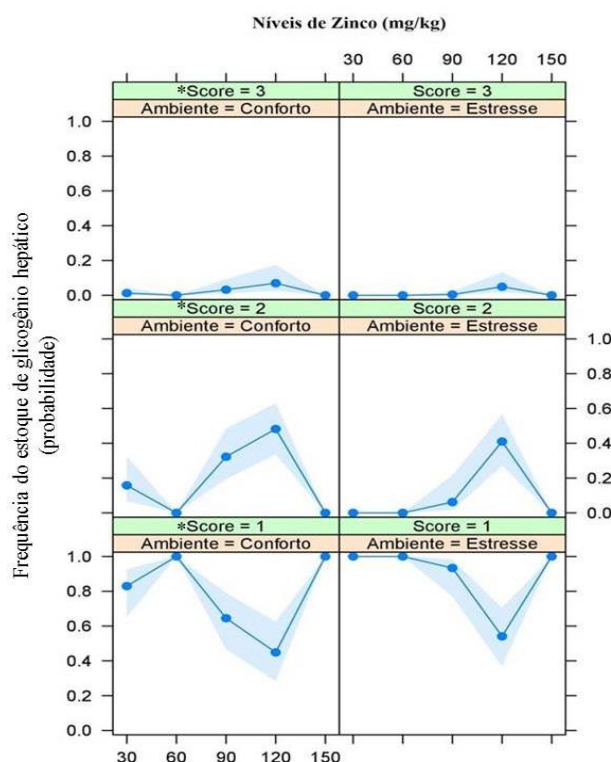


Figura 3- Frequência do estoque de glicogênio hepático em codornas japonesas aos 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos. Legenda: * 1 (pouco estoque de glicogênio), 2 (moderado estoque de glicogênio) e 3 (abundante estoque de glicogênio).

Quando analisamos o efeito do ambiente térmico de forma isolada, observamos que no conforto os escores 2 e 3, os quais representam maior estoque de glicogênio, apresentaram maior evidência para este ambiente (Tabela 9).

Tabela 9- Efeito do ambiente térmico sobre o escore de glicogênio hepático de codornas japonesas aos 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta.

Ambiente Térmico	Escore* (%)		
	1	2	3
Conforto	78,67 b	18,67 a	2,66 a
Estresse por calor	89,33 a	10,00 b	0,67 b

* 1 (pouco estoque de glicogênio), 2 (moderado estoque de glicogênio) e 3 (abundante estoque de glicogênio). Adaptado de Ishak et al. (1995).

O desequilíbrio fisiológico causado por altas temperaturas tem efeito direto sobre as reservas de glicogênio hepático, por consequência da redução do consumo de alimentos ocorre diminuição na quantidade de glicose circulante para suprir as demandas energéticas do animal, então o organismo passa a consumir em maior quantidade dessa reserva de glicose no fígado na forma de glicogênio para suprir essa deficiência energética. É importante retratar que quanto mais intenso for o calor, maior será o gasto energético para manter a temperatura, sendo assim, o animal estoca menos energia devido ao gasto para manter a homeotermia.

Na Figura 4, são apresentados os resultados de estoque de glicogênio hepático aos 42 dias de idade.

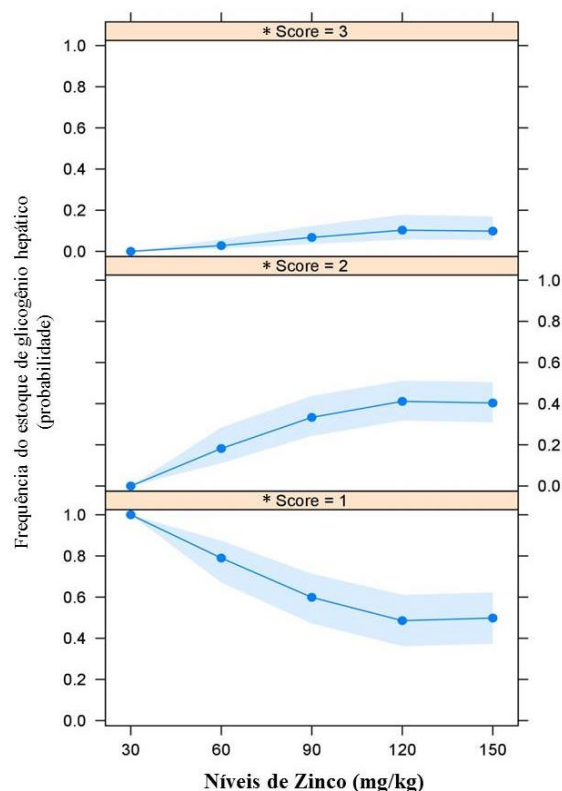


Figura 4- Frequência do estoque de glicogênio hepático em codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta. Legenda: * 1 (pouco estoque de glicogênio), 2 (moderado estoque de glicogênio) e 3 (abundante estoque de glicogênio).

Aos 42 dias de idade foi observado efeito isolado apenas para os níveis de zinco na dieta (Figura 4), observa-se que o nível de 120 mg/Zn seguiu a mesma tendência da fase anterior; no escore de grau 1 foi observado com menor probabilidade e em maior probabilidade para os escores de grau 2 e 3, os quais representam maior estoque de glicogênio.

Estes resultados podem estar associados ao papel do zinco em auxiliar o pâncreas funcionar de forma mais eficiente, melhorando assim a digestibilidade dos nutrientes (SAHIN et al., 2009), consequentemente liberando maior aporte de glicose na corrente sanguínea, a qual será armazenada no fígado na forma de glicogênio.

Aos 42 dias de idade as aves deste estudo estavam em início de produção de ovos, nesta fase a maioria dos órgãos e sistemas estão desenvolvidos, portanto o excedente de glicogênio hepático, que na fase de crescimento seria usado como substrato energético, começa a se acumular no fígado e ser destinado a maior produção de estrogênio, aumentando assim a produção de ovos. Tal acúmulo pode elevar o grau de esteatose hepática. Bunchasak & Silaspasorn (2005) afirmaram que o aumento de gordura no fígado

pode ocorrer também pela maior síntese de estrogênio no ovário, em detrimento das altas taxas de produção de ovos nesta fase.

Como nesta fase da vida das aves o acúmulo de gordura é reduzido devido à formação dos tecidos e o metabolismo proteico estarem bastante acelerados, não há excesso de energia sendo acumulado sobre os órgãos, principalmente nos hepatócitos, o que poderia gerar esteatose hepática.

Ao analisar o grau de esteatose hepáticos das aves aos 42 dias de idade, não houve interação entre os fatores nem efeito sobre o ambiente térmico. Foi observado efeito significativo apenas para os níveis de zinco de forma isolada (Figura 5).

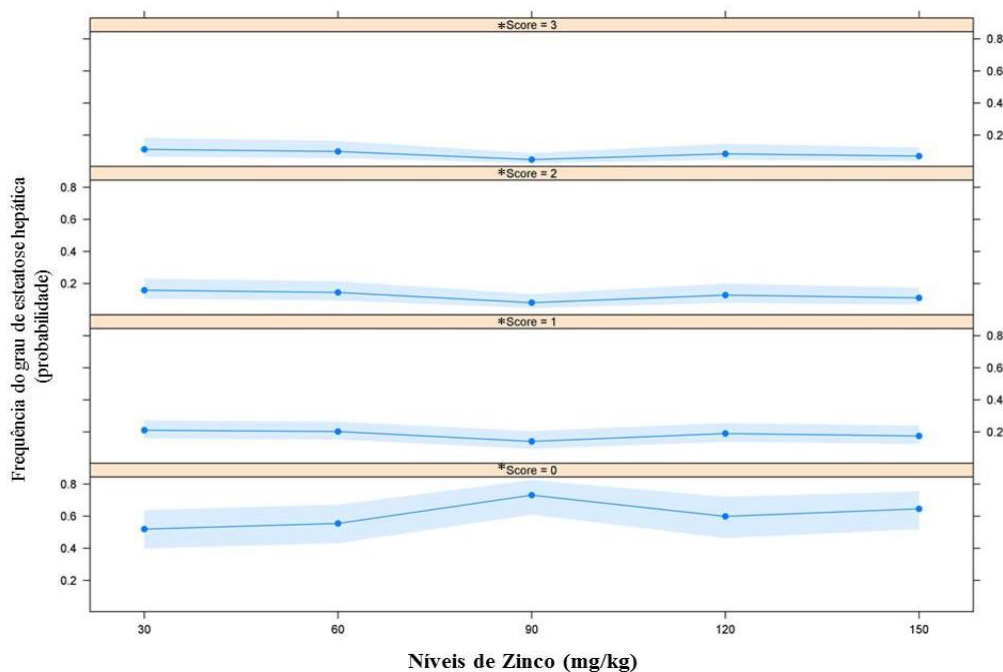


Figura 5- Frequência do estoque de esteatose hepática em codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta. Legenda: *0 (ausência de esteatose), 1 (pouca esteatose), 2 (esteatose moderada) e 3 (esteatose avançada).

Ao nível de 90 mg/Zn o escore de grau 0 ocorreu em maior probabilidade, indicando que esse nível contribui para a ausência de esteatose hepática. Quando foram avaliados os níveis para os escores de grau 1, 2 e 3, todos se mantiveram em baixa probabilidade de ocorrer, no entanto o nível de 90 mg/Zn apresentou uma pequena diferença positiva em relação aos outros níveis, pois nesse nível os escores com maior grau de esteatose foi encontrado em menor probabilidade (Figura 5).

4.4. Peso de órgãos e carcaça

Não houve interação entre os níveis de zinco da dieta e o ambiente térmico sobre o peso de órgãos e carcaça para esta fase de avaliação (Tabela 10). Pela análise de regressão, o baço e a bolsa cloacal não sofreram influência dos níveis de Zn. Segundo Bartlett e Smith (2003), o peso da bolsa cloacal e do baço não apresentam diferença significativa em relação ao nível de zinco na dieta. Já Feng et al. (2011) constataram que o peso da bolsa cloacal e do baço foi maior de acordo com o aumento linear dos níveis de zinco na dieta.

Foi observado efeito isolado dos níveis de Zn das dietas para o peso de fígado e carcaça, a análise de regressão para os níveis de Zn comprovou que o peso do fígado apresentou efeito quadrático ($P=0,0292$), sendo estimado 80 mg/kg de Zn na dieta para se obter o maior peso. A redução no peso do fígado quando utilizadas quantidades de Zn acima de 80 mg/kg, mostra que o excesso de zinco nas dietas, mesmo não tendo alcançado níveis tóxicos, reduziu a atividade metabólica no órgão.

Já o peso da carcaça foi influenciado de forma linear decrescente, em função dos níveis de Zn.

Tabela 10- Peso de órgãos e carcaça de codornas japonesas aos 21 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.

Níveis de Zn (mg/kg)	Peso (g)			
	Baço	Bolsa Cloacal	Fígado	Carcaça
30	0,059	0,156	1,937	58,69
60	0,059	0,156	2,055	59,09
90	0,064	0,153	1,964	57,43
120	0,057	0,150	1,958	57,35
150	0,059	0,156	1,870	55,31
Ambiente*				
Conforto	0,0638 A	0,168 A	2,013 A	58,30 A
Estresse por calor	0,0561 B	0,141 B	1,907 B	56,77 B
C.V. (%)	30,25	23,25	8,77	5,58
Valor de P				
Zn	0,7547	0,9898	0,0283 ¹	0,0068 ²
Ambiente	0,0464	0,0007	0,0054	0,0241
Zn x Ambiente	0,4880	0,4824	0,2845	0,4274
Regressão				
Linear	0,8520	0,8985	0,0681	0,0005
Quadrática	0,4422	0,7837	0,0292	0,2267

*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste T ($P<0,05$);

¹Peso de fígado_{21 dias} = $-4E-05x^2 + 0,0064x + 1,7457$; $R^2 = 0,7868$

²Peso de carcaça_{21 dias} = $-0,0283x + 60,124$; $R^2 = 0,8266$

O ambiente influenciou os pesos de todos os órgãos e da carcaça. As aves que foram criadas em estresse por calor tiveram redução de 13,72% no peso do baço, 19,15% na bolsa cloacal, 5,56% no fígado e 2,70% na carcaça em relação às aves que foram criadas em ambiente de conforto térmico (Tabela 10). Esta redução de peso está relacionada aos danos oxidativos que o estresse térmico causa às membranas celulares dos órgãos imunes. Os resultados deste estudo corroboram os dados de Jahanian e Rasouli (2015) que observaram reduções significativas nos pesos relativos dos órgãos imunes devido ao estresse térmico.

Em uma situação de estresse por calor, um dos mecanismos que as aves utilizam é a diminuição da taxa metabólica e consequentemente redução do consumo de alimentos, por ser um órgão responsável pela metabolização dos nutrientes, o fígado será diretamente afetado pelos fatores citados anteriormente, além de sofrer efeitos negativos de hormônios que levam a sua involução. Oba et. al. (2012) relatam que temperaturas elevadas provocam redução no tamanho das vísceras metabolicamente mais ativas (fígado) em frangos de corte.

A redução de peso da carcaça das aves mantidas em estresse por calor era esperada, pois neste ambiente reduziram tanto o consumo de ração quanto seu ganho de peso, bem como sofrem a ação catabólica de hormônios esteroides (corticosterona e cortisol).

Aos 42 dias, observou-se interação entre os níveis de Zn e o ambiente térmico apenas para o peso de baço (Tabela 11). A exposição ao estresse por calor diminuiu o peso da bolsa cloacal ($P= 0,0378$), fígado ($P< 0,0001$) e carcaça ($P< 0,0001$).

Tabela 11- Peso de órgãos e carcaça de codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.

Níveis de Zn (mg/kg)	Peso (g)			
	Baço	Bolsa Cloacal	Fígado	Carcaça
30	0,072	0,141	3,23	85,38
60	0,062	0,134	3,19	86,30
90	0,064	0,125	3,23	87,38
120	0,075	0,138	3,17	88,40
150	0,057	0,139	3,16	87,92
Ambiente*				
Conforto	0,071 A	0,146 A	3,45 A	89,41 A
Estresse por calor	0,061 B	0,124 B	2,96 B	84,59 B
C.V. (%)	37,01	34,94	14,29	5,60
Valor de P				
Zn	0,1829	0,8021	0,9827	0,3824
Ambiente	0,0525	0,0378	<0,0001	<0,0001
Zn x Ambiente	0,0243	0,9034	0,3660	0,1013
Regressão				
Linear	0,3563	0,8806	0,5879	0,0742
Quadrática	0,7492	0,3092	0,8827	0,4242

*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste T (P<0,05);

Os níveis de Zn não apresentaram efeito isolado para o peso de órgãos e carcaça. Apesar de estudos demonstrarem aumento do peso da bolsa cloacal de frangos de corte que recebem zinco nas dietas (EZZATI et al., 2013), alterações no peso desse órgão não foram observadas nesta pesquisa.

Igualmente da fase anterior, 21 dias, na fase de 42 dias observa-se que o peso dos órgãos e carcaça foram influenciados pelo ambiente térmico (Tabela 11). Da mesma forma nesta fase as aves mantidas em ambiente de conforto térmico apresentaram os maiores pesos de órgãos e carcaça, observando aumento de 16,40% no peso do baço, 17,74% da bolsa cloacal, 28,25% do fígado e 5,70% da carcaça em relação às aves que foram criadas em ambiente de estresse por calor.

De acordo com Oba et al. (2012), a ofegação das aves durante o estresse por calor resulta em maior atividade da musculatura do peito, demandando partes das reservas de glicogênio, usando ATP mais rapidamente do que pode repor. Então o desenvolvimento dos músculos do peito diminui, consequentemente comprometendo o peso total da carcaça, já que é a região muscular de maior peso nas aves.

Tabela 12- Desdobramento da interação entre os níveis de zinco e diferentes ambientes sobre o peso do baço de codornas com 42 dias de idade.

Níveis de Zn (mg/kg)	Peso (g)	
	Conforto	Estresse por calor
30	0,082 ab	0,062
60	0,058 b	0,066
90	0,060 b	0,069
120	0,094 a	0,055
150	0,062 ab	0,052
Regressão		
Linear	0,8977	0,2415
Quadrática	0,5938	0,3208

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$);

De acordo com a Tabela 12, o desdobramento do efeito da interação entre os níveis de Zn da dieta e o ambiente térmico sobre o peso do baço aos 42 dias, não apresentou efeito significativo pela análise de regressão para nenhum dos dois ambientes, já quando realizado o teste de Tukey, foi observado efeito ($P = 0,0506$) dos níveis para o ambiente de conforto térmico, indicando maior peso de baço quando se utilizou o nível de 120 mg/kg de Zn na dieta.

4.5. Resistência de tíbia

Não houve interação entre os níveis de zinco da dieta e o ambiente térmico sobre a resistência óssea da tíbia (Tabela 13). O efeito do Zn foi observado de forma isolada, as aves que apresentaram tíbias mais resistentes à fratura foram as que receberam os maiores níveis de Zn, demonstrando comportamento linear crescente ($P = 0,0008$).

Uma provável justificativa para este efeito sobre a resistência óssea pode ser atribuída à interação que o zinco tem sobre o cálcio no processo de síntese do osso (SUNDER et al., 2008). Neste caso, a interação trouxe efeito positivo, atribuindo maior resistência da tíbia das aves. Outra hipótese para este resultado também pode ser atribuída à função do zinco como um cofator e / ou componente estrutural da anidrase carbônica que é muito importante para fornecer os íons carbonato necessários durante a formação da casca do ovo (Nys et al., 1999), como neste trabalho as aves estavam em início de postura, os maiores níveis de zinco formaram íons de carbonato suficientes para formar a casca do ovo e participar da síntese óssea.

Os resultados deste trabalho corroboram com o de Sahraei et al. (2012), em experimento com frangos em crescimento no qual a suplementação de 150 mg / kg de Zn na dieta resultou em maiores propriedades na resistência da tíbia.

De acordo com Kumar et al. (2012) a deposição de zinco na tíbia varia de acordo com as concentrações do mineral na dieta, onde maiores concentrações de zinco promoveram maior deposição deste na tíbia.

Tabela 13- Resistência óssea da tíbia de codornas japonesas aos 42 dias de idade, suplementadas com níveis de zinco na dieta e em diferentes ambientes térmicos.

Níveis de Zn (mg/kg)	Resistência Óssea (kgf)
30	2,546
60	2,992
90	3,105
120	3,178
150	3,372
Ambiente*	
Conforto	3,254 A
Estresse por calor	2,857 B
CV (%)	20,62
Valor de P	
Zn	0,0235
Ambiente	0,0117
Zn x Ambiente	0,6591
Regressão	
Linear	0,0008 ¹
Quadrática	0,2943

*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste T (P<0,05);

¹RO_{42 dias} = 0,0061x + 2,4872; R² = 0,8894

Também houve efeito isolado para o ambiente térmico, as aves que foram mantidas em ambiente de estresse por calor apresentaram redução na resistência óssea de 13,90% em relação às aves que foram mantidas em ambiente de conforto térmico (Tabela 13). Esta redução na RO no ambiente de estresse por calor pode estar associada às alterações no balanço eletrolítico das aves. Durante o estresse por calor, as aves aumentam a frequência respiratória no intuito de diminuir a temperatura corporal, resultando em desequilíbrio ácido-base e em alcalose respiratória pela eliminação acentuada de CO₂ e redução de pCO₂ (OGUNTUNJI & ALABI, 2010). De acordo com Mujahid et al. (2009), na alcalose respiratória a maior parte do cálcio fica complexado às proteínas do sangue, com consequente redução do cálcio livre ionizado, tornando-o insuficiente ou indisponível para deposição óssea.

Os resultados encontrados neste trabalho corroboram ao encontrados em estudo por SAHIN et al. (2006), onde foi demonstrado que a exposição de codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) ao estresse por calor prejudicou a mineralização óssea da tíbia.

5. CONCLUSÃO

Com base na média das variáveis de desempenho encontrados nas equações de regressão fatorial, recomenda-se a utilização de 60 mg/Zn por kg em dietas de codornas japonesas de 1 a 42 dias de idade em conforto térmico e estresse por calor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agresti, A. 1996. Multicategory logit models. Pages 205-220 in Na Introduction to Categorical Data Analysis. **John Wiley and Sons Inc.**, New York, NY.

Alvarenga, B. O.; Beletti, E.; Fernandes, E. A.; Silva, M. M.; Campos, L. F. B.; Ramos, S. P. 2004. Efeitos de fontes alternativas de fósforo nas rações de engorda e abate sobre a morfologia intestinal de frangos de corte. **Bioscience Journal**, 20:55-59.

Aksit, M.; Yalcin, S.; Ozkan, O.; Metin, K.; Ozdemir, D. 2006. Effects of temperature during rearing and crating on stress parameters and meat quality of broilers. **Poultry Science**. 85:1867–1874.

Arruda, A.M.V.; Fernandes, R.T.V.; Silva, J.M.; Lopes, D.C. 2008. Avaliação morfohistológica da mucosa intestinal de coelhos alimentados com diferentes níveis e fontes de fibra. **Revista Caatinga**. Mossoró, 21:1-11.

Awad W.; Ghareeb, K.; Abdel-Raheem, S.; Böhm, J. 2009. Effects of dietary inclusion of probiotic and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens. **Poultry Science**, 88: 49-56.

Bartlett, J.R.; Smith, M.O. 2003. Effects of different levels of zinc on the performance and immunocompetence of broilers under heat stress, **Poultry Science**, 82:1580–1588.

Berto, D. A. **Temperatura ambiente e nutrição de codornas japonesas**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, 137f, 2012.

Boiago, M.M.; Borba, H.; Souza, P.A.; Scatolini, A.M.; Ferrari, F.B.; Giampietro-Ganeco, A. 2013. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo

diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 65:241- 247.

Bonfim, D.S.; Araújo, M.S. 2015. Influência do ambiente na criação de codornas de corte: Revisão. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, 9:174-181.

Breuner, C. W. and Orchinik, M. 2002. Plasma binding proteins as mediators of corticosteroid in vertebrates. **Journal of Endocrinology**, 175:99-112.

Bridi, A. M. **Adaptação e Aclimação Animal**. (2010). Disponível em: <http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Bioclimatologia_arquivos/AdaptacaoAclimatacaoAnimal.pdf> Acesso em: 19 de março de 2017.

Bunchasak, C.; Silapasorn, T. 2005. Effects of adding methionine in low-protein diet on production performance, reproductive organs and chemical liver composition of laying hens under tropical conditions. **International Journal of Poultry Science**, 4:301-308.

Burrell, A. L; Dozier, W.A; Davis, A.J; Compton, M.M; Freeman, M.E; Vendrell, P.F; Ward, T.L. 2004. Responses of broilers to dietary zinc concentrations and sources in relation to environmental implications. **British Poultry Science**, 45:225-263.

Cavaliere, G.A. 2013. **Parâmetros histomorfométricos do intestino delgado em frangos de corte alimentados com rações contendo diferentes fontes de sorgo e concentrações de tanino**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia). Universidade Federal de São Carlos, p. 41.

Chand, N.; Naz S.; Khan, A.; Khan, S. and Khan, R.U. 2014. Performance traits and immune response of broiler chicks treated with zinc and ascorbic acid supplementation during cyclic heat stress. **International Journal Biometeorology**, 58:2153-2157.

Cruz, V.C.; Fernandez, I.B.; Trava, C.M.; Sedano, A.A.; Piccinin, A.; Maioli, M.A. Suplementação dietética com Selênio e Zinco orgânicos na qualidade interna e externa de ovos de codornas japonesas submetidas a estresse térmico. **46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Maringá, 2009.

Costa, E. M. S.; Dourado, L. R. B.; Merval, R. R. 2012. Medidas para avaliar o conforto térmico em aves. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.6, n. 31.

Ebrahimzadeh, S. K.; Farhoomand, P.; Noori, K. 2012. Immune response of broiler chickens fed diets supplemented with different level of chromium methionine under heat stress conditions. **Asian-Australasina Journal of Animal Science**, 25:256-260.

El-Gendi, G. M.; Samak H. R. and Mohamed, A. A. 2009. Effect of induced molting on some productive and physiological traits in hy-line hens. **Egyptian Poultry Science**, 29: 385-405.

Ezzati, M. S.; Bozorgmehrifard, M. H.; Bijanzad, P.; Rasoulinezhad, S.; Moomivand, H.; Faramarzi, S.; Ghaedi, A.; Ghabel, H.; Stabraghi, E. 2013. Effects of different levels of zinc supplementation on broilers performance and immunity response to Newcastle disease vaccine. **European Journal of Experimental Biology**. 3:497-501.

Feng, J.; Ma, W. Q.; Niu, H.H.; Wu, X.M.; Wang, Y.; Feng, J. 2011. Effects of zinc glycine chelate on growth, hematological, and immunological characteristics in broilers. **Biological Trace Element Research**. 133:203-211.

Fernandes, G. A.; Fernandes, F. F. D.; Mousquer, J. C. 2014. Nutrição de frangos de corte adequada a regiões de clima quente - Revisão. **Revista Eletrônica Nutritime**, 1:3045-3069.

Ferreira, R.A. 2005. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Aprenda Fácil, Viçosa, 371p.

Fouad, A. M.; Chen, W.; Ruan, D.; Wang, S.; Xia, W.G.; Zheng, C.T. 2016. Impact of heat stress on meat, egg quality, immunity and fertility in poultry and nutritional factors that overcome these effects: A review. **International Journal of Poultry Science**, 15:81-95.

Hosseini-Mansoub, N.; Chekani-Azar, S.; Tehrani, A. A.; Lotfi, A. and Manesh, M. K. 2010. Influence of dietary vitamin E and zinc on performance, oxidative stability and some blood measures of broiler chickens reared under heat stress (35°C). **Journal of Agrobiology**, 27:103-110.

Hu, C., Song, J., Li, Y., Luan, Z., and Zhu, K. 2013. Diosmectite-zinc oxide composite improves intestinal barrier function, modulates expression of pro-inflammatory cytokines and tight junction protein in early weaned pigs. **British Journal of Nutrition**. 110: 681–688.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal (2015)**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 22 out. 2017.

Idowu, O. M. O.; Ajuwon, R. O.; Oso, A. O.; Akinloye, O. A. 2011. Effect of zinc supplementation on laying performance, serum chemistry and Zn residue in tibia bone, liver, excreta and egg shell of laying hens. **International Journal of Poultry Science**, 10: 225-230.

Ishak, K.; Baptista, A.; Bianchi, L. 1995. Histological grading and staging of chronic hepatitis. **Journal of Hepatology**, 22: 696-699.

Jahanian, R. and Rasouli, E. 2015. Dietary chromium methionine supplementation could alleviate immunosuppressive effects of heat stress in broiler chicks. **Journal Animal Science**, 93:3355-3363.

Junqueira, L. C.; Carneiro, J. 2008. **Histologia básica**, Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 11: 389-413.

Kakhki, R. A. N.; Bakhshalinejad, R.; Shafiee, M. 2016. Effect of dietary zinc and α -tocopheryl acetate on broiler performance, immune responses, antioxidant enzyme activities, minerals and vitamin concentration in blood and tissues of broilers. **Animal Feed Science and Technology**, 221:12-26.

Keilin, D. and Mann, T. 1940. Carbonic anhydrase. Purification and nature of the enzyme. **Biochemical Journal**, 34-1163-1176.

Kidd, M. T.; Ferket, P. R. and Qureshi, M.A. 1996. Zinc metabolism with special reference to its role in immunity. **World's Poultry Science Journal**, 52: 309-323.

Kidd, M. T.; Qureshi, M. A.; Ferket, P. R.; Thomas, L. N. 2000. Turkey hen zinc source affects progeny immunity and disease resistance. **Journal Applied Poultry Research**, 9: 414-423.

Kim, W. K., and P. H. Patterson. 2004. Effects of dietary zinc supplementation on broiler performance and nitrogen loss from manure. **Poultry Science**, 83:34–38.

Kucuk, O.; Sahin, N.; Sahin, K. 2003. Supplemental zinc and vitamin A can alleviate negative effects of heat stress in broiler chickens. **Biological trace element research**, 94:225-235.

Kumar, A. C., Ramana, J. V., Prasad, J. R., Sudheer, S. D., Reddy, S. P., Shakeela, S. 2012. Dietary Supplementation of Zinc Sulphate and Zinc-Methionine: Changes in Levels of Mineral Composition (Copper, Zinc, Iron and Manganese) in Various Organs of Broilers. **Journal of Animal Production Advances**, 2: 409-419.

Krebs, N.F. 2000. Overview of Zinc Absorption and Excretion in the Human Gastrointestinal Tract. **The Journal of Nutrition**, 130: 1374-1377.

Laganá, C.; Ribeiro, A. M. L.; González, F. H. D.; Lacerda, A.; Kratz, L. R.; Barbosa, P. R. 2007. Níveis dietéticos de proteína e gordura e parâmetros bioquímicos, hematológicos e empenamento em frangos de corte estressados pelo calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36: 1783-1790.

Laity, J. H.; Andrews, G. K. Understanding the mechanisms of zinc-sensing by metalresponse element binding transcription factor-1 (MTF-1). 2007. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 463: 201-210.

Leeson, S. 1986. Nutritional considerations of poultry during heat stress. **Poultry Science**, 42: 69-81.

Li, B.T.; Kessel, A.G.; Caine, W.R.; Huang, S.X.; Kirkwood, R.N. 2001. Small intestinal morphology and bacterial populations in ileal digesta and feces of newly weaned pigs receiving a high dietary level of zinc oxide. **Canadian Journal Animal Science**, 81: 511–516

Lima, R. C.; Costa, F. G. P.; Goulart, C. C.; Cavalcante, L. E.; Freitas, E. R.; Silva, L. H. V.; Dantas, L. S.; Rodrigues, V. P. 2014. Exigência nutricional de proteína bruta para codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) na fase de postura. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 66: 1234-1242.

Lima, D. C. P. 2016. **Uso de l-glutamina e zinco em dietas para frangos de corte**. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, p.101.

Lopes, J. C. O.; Ribeiro, M. N.; Lima, V. B. S. 2015. Estresse por calor em frangos de corte. **Nutritime Revista Eletrônica**, 12: 4478-4487.

Lonnerdal, B. 2000. Dietary Factors Influencing Zinc Absorption. **The Journal of Nutrition**, 130: 1378-1383.

Furlan, R. L.; Macari, M.; Gonzales E. 2002. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 246p.

Mafrá, D.; Cozzolino, F. M. S. 2004. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição**, 17: 79-87.

Maiorka, A.; Boleli, I. C.; Macari, M. **Desenvolvimento e reparo da mucosa intestinal. In: Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Campinas: FACTA, Fundação Apinco de Ciências e Tecnologia Avícolas, v. 2, p. 113-124, 2002.

Marchini, C. F. P.; Silva, P. L.; Nascimento, M. R. B. M.; Beletti, M. E.; Guimarães, E. C.; Soares, H. L. 2009. Morfometria da mucosa duodenal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 61:491-497.

Midilli, M.; Salman, M.; Muglali, O.H.; Ogretmen, T.; Cenesiz, S.; Ormanci, N. 2014. The effects of organic or inorganic zinc and microbial phytase, alone or in combination,

on the performance, biochemical parameters and nutrient utilization of broilers fed a diet low in available phosphorus. **International Journal of Animal and Veterinary Sciences**, 8: 469-475.

Midilli M., Salman M., Muğlalı Ö.H., Çenesiz S., Ormancı N., Pakdil M., Gürcan İ.S. 2015. The effects of different zinc sources and microbial phytase supplementation on the tibial bone properties, strength and Zn mineralization broilers fed with diet low phosphorus. **Journal of the Faculty of Veterinary Medicine**, Kafkas University, 21: 607-614.

Mocchegiani, E., Costarelli, L., Basso, A., Giacconi, R., Piacenza, F., and Malavolta, M. 2013. Metallothioneins, ageing and cellular senescence: A future therapeutic target. **Current Pharmaceutical Design**, 19:1753–1764.

Mujahid, A.; Akiba, Y.; Toyomizu, M. 2009. Progressive changes in physiological responses of heat-stressed broiler chickens. **The Journal of Poultry Science**, 46: 163-167.

Murakami, A. E.; Silva, L. M. S.; Fernandes, J. I. M.; Silveira, T. G. V.; Garcez Neto, A. F. 2014. The effect of arginine dietary supplementation in broiler breeder hens on offspring humoral and cell-mediated immune responses. **Brazilian Journal of Poultry Science**, 16: 63-72.

Nagata M.; Lönnnerdal B. 2011. Role of zinc in cellular zinc trafficking and mineralization in a murine osteoblast - like cell line. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, 22: 172-178.

Naz, S.; Idris, M.; Khalique, M.A.; Zia-ur-rahman; Alhidary, I.; Abdelrahman, M. M.; Khan, R. U.; Chand, N.; Farooq, U. and Ahmad S. 2016. The activity and use of zinc in poultry diets. **World's Poultry Science Journal**, 72:159-167.

Nazareno, A. C.; Pandorfi, H.; Almeida, G. L. P.; Giongo, P. R.; Pedrosa, E. M. R. and Guiselini, C. 2009. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13: 802-808.

Nollet, L.; Klis, J.D.; Lensing, M.; Spring, P. 2007. The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. **The Journal of Applied Poultry Research**, 16: 592-597.

Nys, Y.; Hincke, M. T.; Arias, J. L.; Garcia-Ruiz, J. M.; Solomon, S. E. 1999. **Avian eggshell mineralization**. **Avian and Poultry Biology Reviews**, 10: 143-166.

Oba, A.; Lopes, P.C.F.; Boiago, M.M.; Silva, A.M.S.; Montassier, H.J.; Souza, P.A. 2012. Características produtivas e imunológicas de frangos de corte submetidos a dietas

suplementadas com cromo, criados sob diferentes condições de ambiente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41: 1186-1192.

Oguntunji, A. O. and Alabi O. M. 2010. Influence of high environmental temperature on egg production and shell quality: a review. **World's Poultry Science Journal**, 66: 739-749, 2010.

Oliveira, D. L.; Nascimento, J. W. B.; Camerini, N. L.; Silva, R. C.; Furtado, D. A. and Araújo, T. G. P. 2014 . Desempenho e qualidade de ovos de galinhas poedeiras criadas em gaiolas enriquecidas e ambiente controlado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18: 1186-1191.

Payne, R.L.; Bidner, T.D.; Fakker, T.M; Southern, L.L. 2006. Growth and intestinal morphology of pigs from sows fed two zinc sources during gestation and lactation. **Journal Animal Science**, 84: 2141–2149.

Park, S. Y.; Birkhold, S. G.; Kuben, L. F.; Nisbet, D. J. and Ricke, S. C. 2003. Effect of storage condition on bone breaking strength and bone ash in laying hens at different stages in production cycles. **Poultry Science**, 82: 1688–1691.

Rahman, H.; Qureshi M. S. and Khan R. U. 2014. Influence of dietary zinc on semen traits and seminal plasma antioxidant enzymes and trace minerals of Beetal bucks. **Reproduction in Domestic Animals**, 48: 1004-1007.

Rao, S. V. R.; Prakash, B.; Raju, M. V. L. N.; Panda, A. K.; Kumari, R. K; Reddy, E.P.K. 2016. Effect of supplementing organic forms of zinc, selenium and chromium on performance, anti-oxidant and immune responses in broiler chicken reared in tropical summer. **Biological Trace Element Research**, 172: 511-520.

Rezende, J. 2016. **Zinco na nutrição e saúde de frangos de corte**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu, p. 79.

Ribeiro, A. M. L.; Vogt, L. K.; Canal, C. W.; Laganá, C.; Streck, A. F. 2008. Suplementação de vitaminas e minerais orgânicos e sua ação sobre a imunocompetência de frangos de corte submetidos a estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 37: 636-644.

Romeo, A.; Vacchina, V.; Legros, S.; and Doelsch, E. 2014. Zinc fate in animal husbandry systems. **Metallomics**, 6: 1999-2009.

Rosa, P. S.; Faria Filho, D. E.; Dahlke, F.; Vieira, B. S.; Macari, M.; Furlan, R. L. 2007. Performance and Carcass Characteristics of Broiler Chickens with Different Growth Potential and Submitted to Heat Stress. **Brazilian Journal of Poultry Science**, 9: 181-186.

Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Donzele, J.L.; Gomes, P.C.; Oliveira, R.F.; Lopes, D.C.; Ferreira, A.S.; Barreto, S.L.T.; Euclides, R.F. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 3ª ed. UFV/DZO, 186p. 2011.

Rubin, L. L.; Canal, C. W.; Ribeiro, A. L. M.; Kessler, A.; Silva, I.; Trevizan, L.; Viola, T.; Raber, M.; Gonçalves, T. A.; Krás, R. 2007. Effects of methionine and arginine dietary levels on the immunity of broiler chickens submitted to immunological stimuli. **Brazilian Journal of Poultry Science**, 9: 241-247.

Sahin, K.; Sahin, N.; Kucuk, O.; Hayirli, A. and Prasad, A. S. 2009. Role of dietary zinc in heat-stressed poultry: A review. **Poultry Science**, 88: 2176-2183.

Sahin, K.; Onderci, M.; Sahin, N.; Balci, T. A.; Gursu, M. F.; Juturu, V. and Kucuk, O. 2006. Dietary arginine silicate inositol complex improves bone mineralization in quail. **Poultry Science**, 85: 486-492.

Sahin, K.; Smith, M.O.; Onderci, M.; Sahin, N.; Gursu, M.F. and Kucuk, O. 2005. Supplementation of zinc from organic or inorganic source improves performance and antioxidant status of heat-distressed quail. **Poultry Science**, 84: 882-887.

Sahin, K.; Kucuk, O. 2003. Zinc supplementation alleviates heat stress in laying Japanese quail. **The Journal of Nutrition**, 133: 2808-2811.

Sahin, K.; Onderci, M.; Sahin, N.; Gursu, M. F.; Kucuk, O. 2003. Dietary vitamin C and folic acid supplementation ameliorates the detrimental effects of heat stress in Japanese quail. **The Journal of Nutrition**, 133: 1882-1886.

Sahraei M., Janmmohamdi H., Taghizadeh A., Cheraghi S. 2012. Effect of different zinc sources on tibia bone morphology and ash content of broiler chickens. **Advances in Biological Research**, 6: 128-132.

Sajadifar, S.; Miranzadeh, H. 2013. High levels of zinc stimulate different aspects of immune system in broiler chicks. **International Journal of Poultry Science**, 12: 94 97.

Santos, C. A.; Fonseca, J. 2012. Zinco: fisiopatologia, clínica e nutrição. **Associação Portuguesa de Nutrição Entérica e Parentérica**, 6: 2-9.

Silva, I. J. O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 2, 214 p.

Silva, J. H. V.; Filho, J. J.; Costa, F. G. P.; Lacerda, P. B.; Vargas, D. G. V.; Lima, M. R. 2012. Exigências nutricionais de codornas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 13: 775-790.

Silva, M. C. M.; Figueirêdo, A. V.; Santana, Y. A. G.; Carvalho Filho, D. U. C.; costa, E. M. S.; Lima, D. C. P.; Araújo, T. P.; Pereira, A. C.; Melo, S. S. 2013. Densidades nutricionais para frangos de corte estressados por calor cíclico. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, 7: 420-548.

Sousa, M. S. **Determinação das faixas de conforto térmico para codornas de corte de diferentes idades.** Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 76f, 2013.

Sousa, M. S.; Tinôco, I. F. F.; Barreto, S. L. T.; Amaral, A. G.; Pires, L. C.; Ferreira, A. S. 2014. Determinação de limites superiores da zona de conforto térmico para codornas de corte aclimatizadas no Brasil de 22 a 35 dias de idade. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 15: 350-360.

Spears, J.W. and Weiss, W.P. 2008. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. **The Veterinary Journal**, 176: 70-76.

Suo, H.; Lu, L.; Zhang, L.; Zhang, X.; Li, H.; Lu, Y.; Luo, X. 2015. Relative bioavailability of zinc-methionine chelate for broilers fed a conventional corn–soybean meal diet. **Biological Trace Element Research**, 165: 206-213.

Sunder, G.S., Panda, A.K., Gopinath, N.C.S., Rao, S.R., Raju, M.V.L.N., Reddy, M.R., and Kumar, C.V. 2008. Effects of higher levels of zinc supplementation on performance, mineral availability, and immune competence in broiler chickens. **The Journal of Applied Poultry Research**, 17: 79-86.

Suttle, N.F. 2010. **The mineral nutrition of livestock**, 4th Ed., CABI Publishing, Oxfordshire, UK.

Tang, Z. G.; Wen, C.; Wang, L. C.; Wang, T.; Zhou, Y. M. 2014. Effects of zinc-bearing clinoptilolite on growth performance, cecal microflora and intestinal mucosal function of broiler chickens. **Animal Feed Science and Technology**, 189: 98-106.

Wang, X.; Fosmire, G. J.; Gay, C. V. Leach, R. M. 2002. Short-term zinc deficiency inhibits chondrocyte proliferation and induces cell apoptosis in the epiphyseal growth plate of young chickens. **Journal of Nutrition**, 132: 665-673.

Waring, P.; Egan, M.; Braithwaite, A.; Mullbacher, A.; Sjearda, A. 1990. Apoptosis induced in macrophages and T blasts by the mycotoxin sporidesmin and protection by Zn²⁺ salts. **International Journal of Immunopharmacology**, 12: 445-57.

Yamaguchi, M. and Hashizume, M. 1994. Effect of B-alanyl-L-histidinato zinc on protein components in osteoblastic MC3T3-E1 cells: Increase in osteocalcin, insulin like growth factor-1 and transforming growth factor-B. **Molecular and Cellular Biochemistry**, 136: 163-169.

Yang, W.L.; Chen, Y.P.; Cheng, Y.F.; Li, X.H.; Zhang, R.Q.; Wen, C. and Zhou, Y.M. 2016. An evaluation of zinc bearing palygorskite inclusion on the growth performance,

mineral content, meat quality, and antioxidant status of broilers. **Poultry Science**, 95: 878-885.

Yu, Y.; Lu, L.; Wang, R. L.; Xi, L.; Luo, X. G.; Liu, B. 2010. Effects of zinc source and phytate on zinc absorption by in situ ligated intestinal loops of broilers. **Poultry Science**, 89: 2157-2165.

Zeferino, C. P.; Komiyama, C. M.; Pelícia, V. C.; Fascina, V. B.; Aoyagi, M. M.; Coutinho, L. L.; Sartori, J. R. and Moura, A. S. A. M. T. 2015. Carcass and meat quality traits of chickens fed diets concurrently supplemented with vitamins C and E under constant heat stress. **The International Journal of Animal Biosciences**, 10: 163-171.

Zhang, B.; Shao, Y.; Liu, D.; Yin, P.; Guo, Y.; Yuan, J. 2012. Zinc prevents *Salmonella enterica* serovar typhimurium-induced loss of intestinal mucosal barrier function in broiler chickens. **Avian Pathology**, 41: 361-367.